

Trabajo de Final de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Estudio y comparación de generación de frío industrial en Ghana

MEMORIA

Autores: Pedro Amer Pou
Tao Miguel Vallespir Marques
Director: Enrique Velo Garcia
Convocatòria: Cuatrimestre de otoño 2016-2017



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resumen

Como consecuencia del crecimiento de la producción industrial en Ghana la red eléctrica nacional no está preparada para cubrir la demanda. La energía en el país se caracteriza por el elevado coste del kilovatio-hora y los continuos cortes de suministro. En el sector industrial de refrigeración para el almacenamiento de las importaciones del país sufre particularmente estos inconvenientes, los sistemas de refrigeración tienen altos consumos y los productos conservados se ven afectados por las fluctuaciones de la temperatura.

La energía renovables solar y la biomasa cuentan con una alta cantidad de recursos en el país que pueden ser utilizadas mediante sistemas de refrigeración como compresión mecánica, absorción, adsorción y eyección. El análisis de los métodos de refrigeración se hace en el caso práctico de Sucatrade, una empresa dedicada a la logística en el puerto de Tema que cuenta con cámaras de 867,86m² de conservación de carnes y pescado a -20°C. La comparación económica del caso práctico entre el sistema alimentado por la red eléctrica, la instalación de paneles fotovoltaicos junto a compresión mecánica y una máquina de absorción con biomasa nos reflejan que la opción más económica es la utilización de una máquina de absorción alimentado por PKS junto a un generador diesel.

Índice

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Objetivos del proyecto	8
1.2. Alcance del proyecto	8
2. SITUACIÓN ENERGÉTICA GHANA	10
3. CASO PRÁCTICO	16
3.1. Descripción empresa	16
3.2. Localización	16
3.3. Cámara frigorífica	18
3.4. Productos	20
4. FUNCIONAMIENTO MÁQUINAS DE REFRIGERACIÓN	22
4.1. Funcionamiento por compresión mecánica	22
4.1.1. Ciclo en cascada	24
4.1.2. Sistema de doble etapa	26
4.1.3. Mercado sistemas de compresión mecánica	28
4.2. Funcionamiento por absorción	29
4.2.1. Mercado máquinas de absorción	34
4.3. Funcionamiento por adsorción	35
4.3.1. Mercado máquinas de adsorción	37
4.4. Funcionamiento por eyección	37
4.4.1. Mercado de sistemas de refrigeración por eyección	39
4.5. Comparación de ciclos de refrigeración	39
5. CARACTERÍSTICAS SISTEMA DE REFRIGERACIÓN ACTUAL	44
5.1. Compresor	44
5.2. Evaporador	47
5.3. Condensador	50
5.4. Refrigerante	51
5.5. Presupuesto de nueva instalación	52
5.6. Cálculo potencia total consumida	53

6. FUENTES SOSTENIBLES A UTILIZAR EN GHANA	56
6.1. Aprovechamiento de fuentes de biomasa	56
6.2. Aprovechamiento de fuentes de energía solar	60
7. CÁLCULO FINAL DEL COSTE DE LA INSTALACIÓN	63
7.1. Energía por biomasa	63
7.1.1. Combustible fuente térmica	63
7.1.2. Máquina de absorción	65
7.2. Energía solar fotovoltaica	68
7.2.1. Placas fotovoltaicas	68
7.2.2. Inversor cargador	70
7.2.3. Baterías	71
7.2.4. Inversor ondulador	71
7.2.5. Otros	72
8. COMPARACIÓN ECONÓMICA	73
8.1. Coste de la instalación actual	73
8.2. Coste de la instalación de máquina de absorción	74
8.3. Coste de instalación energía solar fotovoltaica	74
9. CONCLUSIONES	76
10. AGRADECIMIENTOS	77
11. BIBLIOGRAFÍA	78
12. ANEXO	80

1. Introducción

La República de Ghana es un país situado en el Golfo de Guinea, en la costa occidental de África. Con una superficie de 238.538 Km² y una población de 26.400.000 representa un referente en el continente. Esto se debe a una situación política estable basada en una democracia presidencialista y a una coyuntura económica favorable producida por un crecimiento medio del PIB del 8,3% entre los años 2007-2013. Este auge en la economía de Ghana trae consigo un crecimiento industrial, que implica un aumento de las necesidades energéticas que la red eléctrica nacional no puede hacer frente. La situación geográfica del país le permite contar con las características para el desarrollo del aprovechamiento de energías renovables y hace que la aplicación de estas sea una gran solución al problema energético en el cual está envuelto el país^[1].



Figura 1: Mapa República de Ghana

En el siglo XXI el comercio internacional y la globalización permite a la sociedad poder disponer de productos procedentes de alrededor de todo el mundo y Ghana es un ejemplo de ello. El comercio internacional tiene una gran relevancia económica, el valor del total de las importaciones mundiales alcanza 18.885.688.817.000 US ^[2]. En Ghana esta cifra ronda los 12.787.233.000 US en 2013, un valor mayor al presupuesto nacional en educación (2.135,7 mill) y en sanidad (1.166,2 mill) juntos^[3.1]. Dentro del total de las importaciones, el sector de la alimentación obtiene una gran relevancia, ya que permite poder nutrir a la población con toda clase de productos que llegan del extranjero. Para el comercio de estos alimentos es necesario disponer de las instalaciones y sistemas que los conserven desde la salida de los centros de producción hasta que llega a las manos de los consumidores. Para poder cumplir con esta tarea se debe respetar el correcto mantenimiento de los alimentos mediante la refrigeración de los productos.

La disminución de la temperatura por debajo de la ambiente aumenta considerablemente el tiempo de aprovechamiento de los alimentos ya que paraliza el crecimiento de los microorganismos que dañan la comida. Carnes y pescados son uno de los principales alimentos en los que se basan dietas de alrededor de todo el mundo, para poder comerciar con ellos y poder importarlos de otros mercados es necesario aumentar su vida útil disminuyendo su temperatura.

En el 2013 el valor de las importaciones mundiales de productos cárnicos y pescados frescos, refrigerados y congelados ascendió a un total de 171.333.672.000 US mientras que en la República de Ghana es de 513.398.000 US por lo que representa un importante sector en la economía del comercio internacional y nacional ^[2].

Productos frescos, refrigerados o congelados	Valor importaciones mundiales 2013 (mil US \$)	Valor importaciones en Ghana 2013 (mil US \$)
Carne bovina	39.618.483	5.317
Carne porcina	30.010.531	1.271
Carne ovina y caprina	6.443.115	6.274
Despojos comestibles de animales de la especie bovina, porcina, ovina, caprina, equina	7.205.269	40.452
Carne y despojos comestibles de aves de gallos domésticos, patos, gansos, pavos	26.507.360	200.440
Pescado	61.548.914	25.640
Total	171.333.672	51.398

Tabla 1: Valor importaciones carnes y pescado, ITC

Los sistemas de conservación por refrigeración existen durante toda la cadena de transporte, desde camiones a barcos como en los almacenes, es necesario mantener durante todo el proceso el correcto mantenimiento de la cadena de frío. Para asegurar las condiciones durante almacenamiento, transporte y distribución se ha de asegurar el mínimo de fluctuaciones de temperatura que indique el reglamento específico de cada producto. Algunos puntos de la cadena de transporte serán más críticos que otros, los procesos de cargas y descargas de alimento se deben hacer en las instalaciones específicas que disminuyan la posibilidad de aumento de temperatura.

Los productos congelados son aquellos donde la mayor parte del agua de constitución del alimento se ha convertido en hielo, el problema reside en la posibilidad de formación de cristales de hielo que deterioran el alimento. Estos cristales se pueden producir o bien por un proceso de congelación lento, o si se rompe la cadena de frío y se produce una descongelación, aunque esta sea parcial, y una posterior recongelación. Para poder paliar estos hechos se deberá llevar una correcta conservación y vigilancia de las productos mediante las instalaciones pertinentes, la desventaja de todas estas instalaciones frigoríficas reside en el elevado gasto energético que suponen.

Si se analiza el caso de la Unión Europea los datos de la energía total consumida (2012) en la industria, la mayoría, el 73%, se utiliza para calefacción y refrigeración mientras que solo el restante 27% de la demanda final de energía se utiliza principalmente para aplicaciones mecánicas impulsadas por la electricidad. En el sector industrial de refrigeración alimentaria, el consumo energético en Europa asciende a 32.974.539.000 kWh^[4], si el precio industrial promedio en 2015 era de 0,119 €/kWh^[5] el gasto total fue de 3.923.970.141€. Este gasto considerable en refrigeración tiene un mayor porcentaje en los climas más calientes como es el de Ghana por lo que el estudio para disminuir el coste de las empresas en este sector será un paso importante para empezar a solucionar la crisis energética que tiene el país.

1.1. Objetivos del proyecto

En el trabajo se llevará a cabo un estudio sobre las alternativas existentes en sistemas de refrigeración de alimento basado en un caso práctico de una empresa de almacenamiento de alimentos congelados localizada en la República de Ghana. El objetivo del proyecto es hacer un análisis comparativo entre diferentes combinaciones de energías renovables disponibles en Ghana y sistemas de refrigeración que se encuentran actualmente en el mercado. De este modo se pretende hallar el conjunto de equipos que satisfaga las necesidades de la empresa tanto a nivel tecnológico como en el coste de la instalación y periodo de retorno de la inversión.

1.2. Alcance del proyecto

En la comparación de sistemas de refrigeración intervienen un gran número de factores, todos ellos serán importantes a la hora de decidir la opción óptima y con mayor viabilidad para la nueva instalación de la empresa en Ghana. El primer paso es estudiar la situación energética de Ghana y la problemática con la disposición de las empresas a la red eléctrica. A continuación se procede a analizar las distintas tecnologías existentes y estudiar sus puntos a favor y en contra para su aplicación en el caso práctico, además se examinarán algunos ejemplos reales ya implantados en este campo. El segundo paso es analizar el estado del sistema de refrigeración de la empresa, tanto compresores, evaporadores y condensadores como las características técnicas del almacén. Los cálculos realizados permiten obtener el gasto de la empresa en el suministro eléctrico que servirá para la comparación final.

Por otro lado se hará una búsqueda de las energías renovables que cumplan las condiciones tanto de la geografía del emplazamiento como de las necesidades tecnológicas, de entre ellas se hará una elección de las más apta para su aprovechamiento. Finalmente se plantean las distintas combinaciones y se llevará a cabo una búsqueda de la maquinaria en el mercado para posteriormente hacer una comparación entre ellas y el caso base.

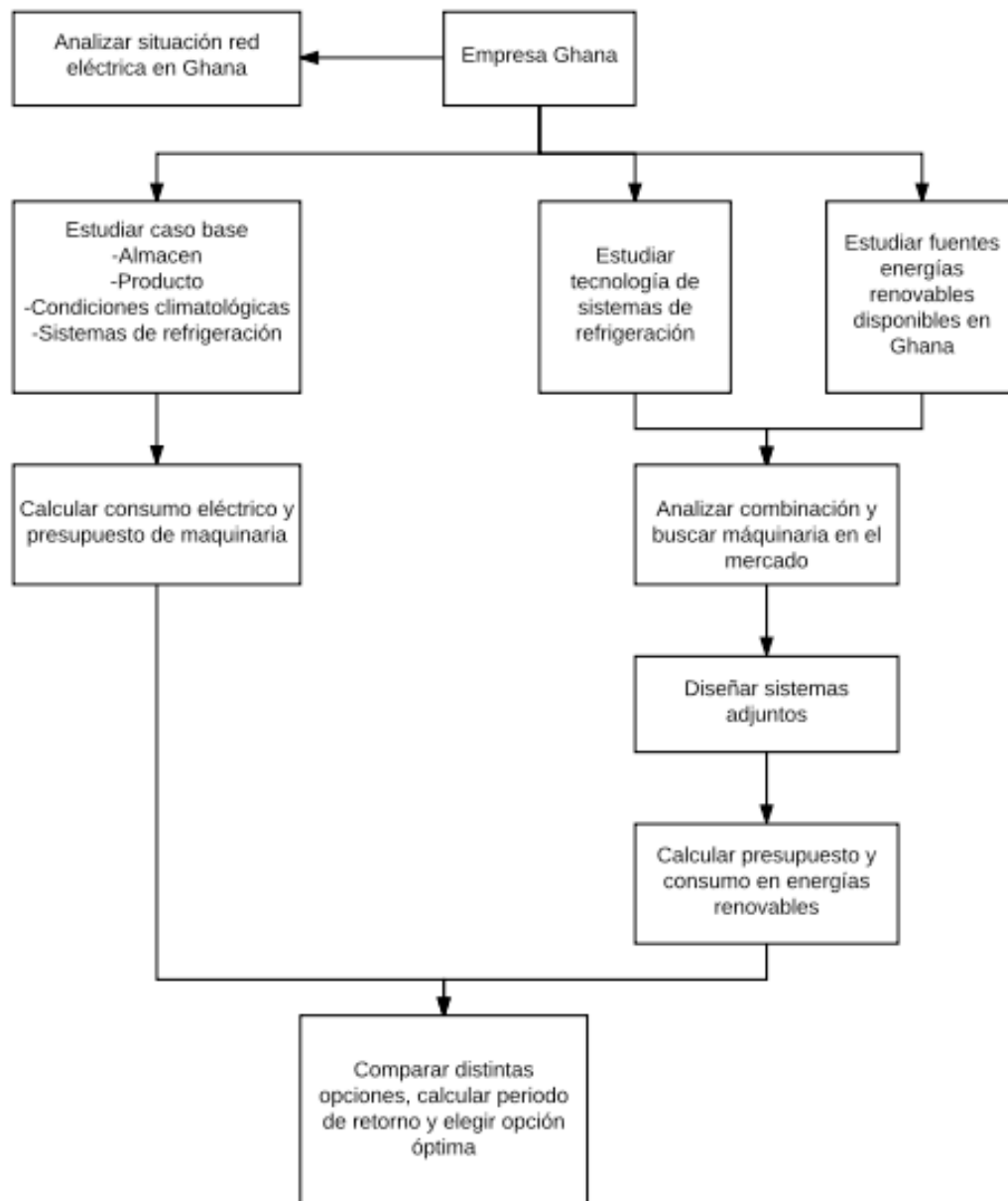


Figura 2: Diagrama de flujo del proyecto

La conclusión final para hallar el sistema de refrigeración óptimo se hará mediante la comparación de las características técnicas y el periodo de retorno. De este modo se habrá finalizado el análisis de obtención del sistemas más adecuado que instalar en Ghana.

2. Situación energética Ghana

Como se ha comentado en la introducción, en los últimos años se ha producido un crecimiento económico en la República de Ghana. Este hecho viene dado por el aumento de la producción industrial durante esta década que a su vez ha provocado el aumento de las necesidades de suministro de energía en el país. A continuación se muestra una tabla y una gráfica donde se puede comprobar la correlación entre el aumento de PIB y el crecimiento de la producción industrial.

Año	PIB MILL €
2015	33.834
2014	29.060
2013	35.994
2012	32.623
2011	28.436
2010	24.248
2009	18.652
2008	19.383
2007	18.064
2006	16.254
2005	8.615

Tabla 2: PIB por año en Ghana^[3,2]

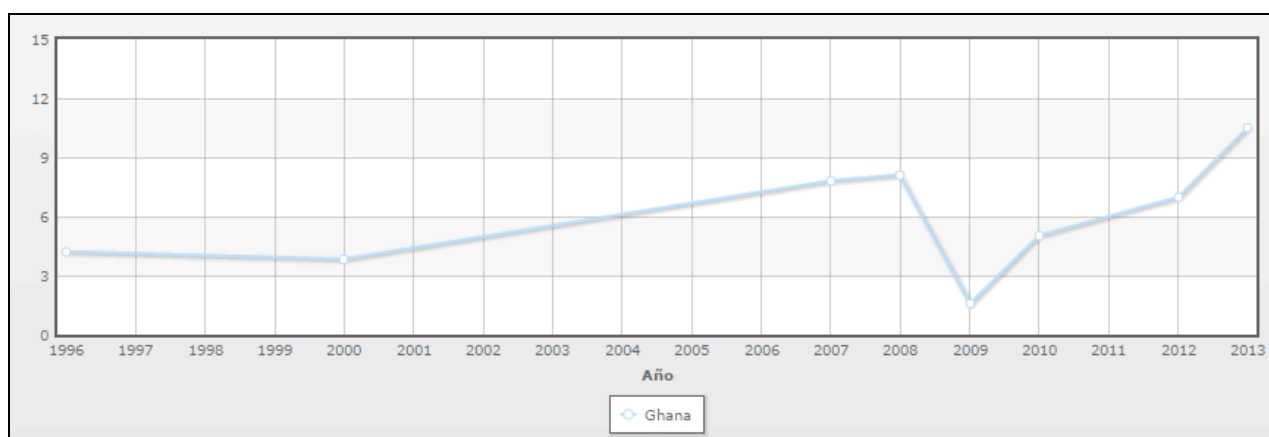


Figura 3: Tasa de crecimiento de la producción industrial en Ghana (%)^[6]

El crecimiento industrial ha producido el aumento del consumo eléctrico en los últimos años. Según datos de la Comisión de la Energía de Ghana el total de potencia eléctrica bruta consumida en el país fue de 12.927 GWh (2013), 13.071 GWh (2014) y 11.692 GWh (2015). Los datos de la comisión de energía mostraban una previsión para el año 2016 de un requisito de electricidad total del país de entre un 16.798-16.900 GWh para lograr un crecimiento económico marginal de entre un 4,0 y un 4,5% en 2016 respecto al año anterior. La correspondiente demanda pico total del sistema de transmisión llegaría a alcanzar unos valores de entre 2.500-2.736 MW según las previsiones realizadas.

La red eléctrica de Ghana disponible para el suministro en el año 2016 en base a la existente y proyectos de expansión de capacidad de generación serían 16.400-16.402 GWh. La demanda nacional correspondiente de pico total del sistema de transmisión sería de entre 2.325 MW y 2.477 MW respectivamente^[7].

Los datos y previsiones reflejan que la red eléctrica disponible en Ghana durante el 2016 no alcanza a suministrar la potencia necesaria para el crecimiento económico esperado. Para poder alcanzarla es necesaria una inversión en importación de combustibles fósiles por valor de US \$1,18 billones de dólares para poder cumplir así con el crecimiento económico esperado. Este coste supone un 3,15% del PIB de Ghana de 2015, que es el mismo porcentaje que se gastó en la salud pública en el 2012^[3,2].

	Precio	Cantidad	Total millones de \$
WAGP gas	9 \$/mscf	21,96 mmscf	197,64
Atuabogas	8.9 \$/mscf	32,94 mmscf	293,16
LCO	60 \$/barril	5,9 millones barriles	354,00
Dieseloil	90 \$/barril	1,51 millones barriles	135,90
HFO	72 \$/barril	2,8 millones barriles	201,60

Total 1,18 billones \$

Tabla 3: Distribución del gasto en combustibles fósiles

Con estos datos se puede comprobar la importancia y dependencia de las importaciones de Ghana de combustibles fósiles para la generación de electricidad. Sin embargo hay que tener en cuenta que el país también dispone de generación de electricidad por centrales hidroeléctricas. El 50.86% de la energía eléctrica generada se consigue mediante la energía hidroeléctrica mientras que el otro 49.10% proviene de centrales térmicas que usan combustibles fósiles como gasoil y gas natural. Los datos en 2012 reflejan que el 37,5% de electricidad que se generaba en estas centrales es consumía en el ámbito industrial mientras que un 12,5% se consume en comercios^[9]. El 64,06% restante se consume en los hogares aunque una gran parte de estos usuarios disponen de electricidad suministrada a

partir de generadores eléctricos que funcionan con gasoil. Esto se debe a los cortes de la red eléctrica nacional causados por situaciones como la parada de las centrales hidroeléctricas en épocas de sequía. Estos cortes de suministro eléctrico también suceden en el sector industrial que provocan la necesidad de instalaciones suplementarias de generadores, ya que el corte de suministro es una situación crítica para muchos de los procesos industriales. La necesidad de alimentar estos generadores hace que Ghana sea un gran importador de petróleo.

	Combustible	Capacidad instalada (MW)	Capacidad Promedio fiable (MW)	Capacidad promedio disponible (MW)	GWh total generados	Total (%)
Plantas hidroeléctricas						
• Akosombo	Hydro	1.020	900	375	4.156	
• Bui	Hydro	400	340	330	870	
• Kpong	Hydro	160	140	105	819	
Sub-Total		1.580	1.380	760	5.845	50,86
Centrales térmicas						
• Takoradi Power Company (TAPCO)	Oil/NG	330	300	300	1,784	
• Takoradi International Company (TICO)	Oil/NG	330	320	320	1,336	
• Sunon–Asogli Power (SAPP)	NG	200	180	180	1,185	
• Tema Thermal Plant 1 (TT1P)	Oil/NG	110	100	100	541	
• Tema Thermal Plant 2 (TT2P)	Oil/NG	49,5	45	30	215	
• CENIT Energy Ltd (CEL)	Oil/NG	110	100	100	317	
• Mines Reserve Plant	Oil/NG	80	70	40	170	
• Takoradi T3	OIL	132	36	3.6	31	
• Karpower	HFO	250	225	225	64	
Sub-total		1.591,50	1.376	1.298,6	5.643	49,10
Renovables						
• VRA Solar	Solar	2,5	2	1	4	
Sub-total		2,5				0,04
Total		3.174	2.756	2.058,5	11.492	

Tabla 4: Generación electricidad Ghana 2015^[7]

Existen 17 centrales hidroeléctricas potenciales, aunque únicamente se han desarrollado hasta ahora Akosombo (1.020 MW), Bui (400) y Kpong (160 MW). Su capacidad neta total, según la Autoridad del Río Volta (VRA), es de 1.580 MW, mientras que la capacidad de las centrales de combustibles fósiles alcanza 1.591,5 MW. Como se puede comprobar en la tabla anterior la generación por vía de energías renovables como la solar fotovoltaica han sido poco explotadas, únicamente funciona una central, VRA Solar (2,5 MW).

Actualmente hay diversos ambicioso proyectos de grandes plantas de energía solar fotovoltaica, como es el caso del proyecto de Blue Energy que espera generar suficiente electricidad para alimentar 100.000 hogares. En cuanto a la energía eólica Ghana cuenta con recursos eólicos de Clase 4-6 y ubicaciones de zonas de viento alto, como Nkwanta, las Llanuras de Accra y las montañas Kwahu y Gambaga. Se calcula que la energía máxima que podría aprovecharse del recurso eólico de Ghana para la electricidad es de unos 500 a 600 GWh/año, al igual ocurre con la energía geotérmica que se estima que podría proporcionar 11.200 GWh^[9](aproximadamente el doble de lo que produce la mayor central hidroeléctrica de Ghana) pero esto tan solo son proyectos debido a que las infraestructura necesarias para construir centrales geotérmicas son desmesuradamente caras y no es rentable realizar tamaña inversión. Por último la energía obtenida por biomasa, se explica con detalle más adelante, pero es una fuente potencial de energía debido a la inmensa cantidad de zonas forestales, cultivos y residuos orgánicos, razón por la que actualmente Ghana se está promocionando entre los inversores de las grandes compañías de biomasa para invertir en esta fuente de energía en territorio ghanés.

A parte de la distinción que se pueda hacer entre las plantas térmicas fósiles y las hidroeléctricas en el campo del medioambiente también se ha de tener en cuenta la diferencia del coste en MWh generado de cada clase de central. Según los datos de la comisión de la energía^[8] de mayo de 2016 el gasto promedio de las centrales térmicas con combustibles fósiles era de 73,12 US \$/MWh mientras que en las centrales hidroeléctricas como Akosombo o Kpong era de 33,10 US \$/MWh y 59,2 US \$/MWh respectivamente. Esta reducción representa el ahorro que se puede conseguir mediante el uso de energías renovables instaladas en el país comparándolo con el gasto que supone la importación de los combustibles fósiles. El coste una vez en el consumidor se muestra en la siguiente tabla, si se suman el total de las tarifas de distribución y uso se comprueba que el precio medio del kWh en Ghana es considerablemente más elevado que el kWh industrial en Europa (11,9 € cent/kWh).

Categoría tarifa	Precio
Cargo de Generación a Granel Volta River Authority (€ cent/kWh)	4,6448
Compuesto Cargo de Generación a Granel Volta River Authority y Productores independientes de energía (€ cent/kWh)	7,9229

Categoría tarifa	Precio
Cargo por Servicio de Transmisión (€ cent/kWh)	1,2302
Cargo por servicio auxiliar (€ cent/kWh)	0,6944

Categoría tarifa	Precio
Cargo por servicio de distribución (€ cent/kWh)	4,8952
DWC (€ cent/kWh)	7,4345

Tarifa consumidor final	Precio
Residencial	
• 0-50 (€ cent/kWh)	7,3936
• 51-300 (€ cent/kWh)	14,8351
• 301 – 600 (€ cent/kWh)	19,2531
• 601+ (€ cent/kWh)	21,3934
Service Charge (€ cent/mes)	139,5223
No-Residencial	
• 0-300 (€ cent/kWh)	21,3271
• 301 – 600 (€ cent/kWh)	22,6943
• 601+ (€ cent/kWh)	35,8019
Service Charge (€ cent/mes)	232,5754

Tabla 5: Tarifa 2016 € cent/kWh Ghana^[10]

Por otro lado a la escasez energética dependiente de los combustibles fósiles hay que sumarle, como se ha comentado, los constantes cortes de electricidad que se producen en el país y la poca eficiencia que afectan tanto a las residencias como a la industria. La realidad económica impone la necesidad de mejorar las redes de transmisión y evacuación de potencia disponible y establecer sistemas de alimentación alternativos para los periodos de cortes energéticos, ya que en casos como la industria de refrigeración no se puede permitir que los procesos se interrumpan por las caídas de tensión de la red nacional, ya que esto provocaría un efecto nocivo en los productos. A los cortes eléctricos de la red hay que sumarle además las pérdidas que se producen en dicho sistema de distribución. En la siguiente tabla se muestran las pérdidas desde 2008 en la red según la Comisión para la Energía de Ghana.

Año	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Transferencia eléctrica bruta %	3,7	3,8	3,7	4,7	4,3	4,4	4,3	3,8

Tabla 6: Pérdidas de la transmisión de potencia de la red^[7]

La electricidad total disponible para la transmisión bruta en 2015 fue de 11.692 GWh por lo que las pérdidas en la distribución eran de 444,29 GWh. Para paliar estas elevadas pérdidas es interesante contemplar proyectos de generación de energía in situ que permitan igualar la oferta a la demanda y reduzcan las pérdidas de distribución. Del mismo modo, y debido a la problemática de los combustibles fósiles y el cambio climático la sociedad tiene el deber de aprovechar la inversión en fuentes de generación para implantar energías alternativas y sostenibles que se adapten a las necesidades nacionales y globales del medio ambiente.

3. Caso práctico

3.1. Descripción empresa

Sucatrade, es una filial de Finatrade, una empresa internacional de distribución con base central en Suiza. En Ghana se ha establecido como segunda empresa de la división de importación de productos congelados como carnes, pescados, helados. En sus instalaciones en Tema disponen de diez naves para productos congelados y refrigerados. Importan 200 contenedores al mes y un buque con congelados de EE UU (250.000 toneladas de carne).

La empresa está compuesto por 90 y 100 empleados locales. Disponen de una filial (FLOGISTICS) de 80 camiones frigoríficos con los que despachan la mercancía desde el puerto a los puntos de distribución a los clientes.

El estudio del análisis de sistemas de refrigeración se centrará en una salas de congelados de uno de los almacenes de la empresa. Esta cámara almacena carnes y pescados envasados a una temperatura de -20°C . En el anexo se puede ver un plano de la estructura del almacén y sus medidas. Las dimensiones de la sala de congelados son de 10,51 m de ancho, 11,01 m de largo y 7,5 m de alto, ocupando un volumen de 867.86 m^3 . En el anexo se puede encontrar el plano de uno de los almacenes donde está la cámara frigorífica que se va a estudiar.

3.2. Localización

Tema es una ciudad localizada en la ensenada de Benin y la costa atlántica de Ghana y tiene una población de 209.000 habitantes. Originalmente construido como pueblo de pescadores ahora es uno de los centros industriales más importantes del país, con numerosas fábricas y una refinería de petróleo. Es una ciudad muy bien comunicada estando sólo a 25 Km de la capital Accra, están unidas mediante autovía y ferrocarril. Además su puerto es el principal del país por lo que supone el punto de entrada y salida de un gran volumen de productos, anualmente pasan por el puerto el 85 % del comercio exterior de Ghana, alcanzando los 12,1 millones de toneladas anuales.

Los datos climatológicos de la zona ofrecidos por la Agencia Meteorológica de Ghana son:

- Temperatura media máxima en Tema: 33,37°C
- Temperatura media mínima en Tema: 23,4°C
- Humedad relativa media en Accra: 85%

El estudio tiene en cuenta la temperatura máxima registrada 33,37°C para que el almacén frigorífico pueda trabajar correctamente aunque se alcancen temperaturas extremas, y así se satisfagan los picos de consumo.

La radiación solar varía en función de latitud, el valor de irradiación solar en Tema es de 5.93 kWh/m² diarios. En la siguiente imagen se muestra la irradiación incidente en Ghana.

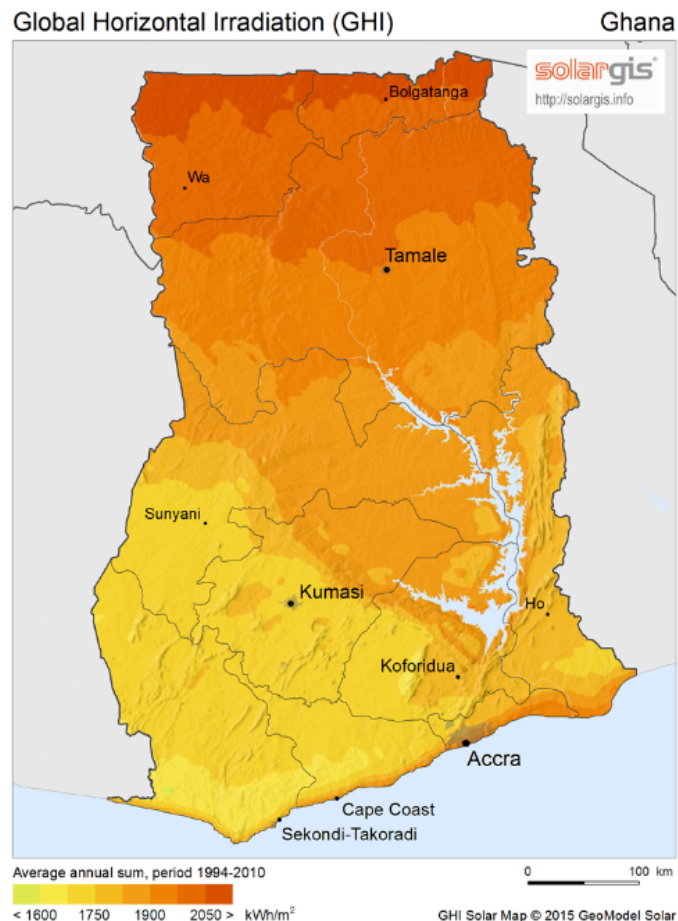


Figura 4: radiación solar global en Ghana^[11]

Este es el valor de la radiación global horizontal en Ghana, es decir el valor de la radiación para superficies horizontales, para superficies inclinadas se debe tener en cuenta el ángulo de inclinación para calcular la radiación incidente.

3.3. Cámara frigorífica

Una cámara de refrigeración es un recinto aislado del cual se extrae energía térmica por medio de sistemas de refrigeración. Las características de una cámara de refrigeración vienen dadas por las solicitaciones térmicas tanto exteriores como interiores junto a algunos otros parámetros. Habrá que tener en cuenta pues la temperatura seca exterior, la temperatura húmeda exterior, la humedad relativa y la temperatura interior entre otros. Dependiendo de estos valores se dimensiona el diseño de paneles, techos y suelos u otro.

- Paneles: Son los encargados de minimizar las pérdidas por conducción y convección entre el lado exterior e interior de la cámara frigorífica, esto se consigue mediante el bajo coeficiente de conductividad de los materiales y el espesor de los paneles. La temperatura media anual en Tema es de 29°C por lo que la diferencia entre el exterior e interior de la cámara será $\text{dif} = (29 - (-20)) = 49^\circ\text{C}$. en el caso en que se alcanza la temperatura máxima de 33.37°C la diferencia será de 53.37°C. Por ejemplo en España el valor del flujo de calor según la norma UNE-EN ISO 12241:2010 se supone una transferencia de calor máxima de $Q = 6.98 \text{ W/m}^2$. Los paneles instalados en la cámara son de 200 mm (como se puede comprobar en el gráfico del fabricante) por lo que se obtienen unas pérdidas térmicas inferiores a las máximas recomendadas tanto en las condiciones medias como en las máximas.

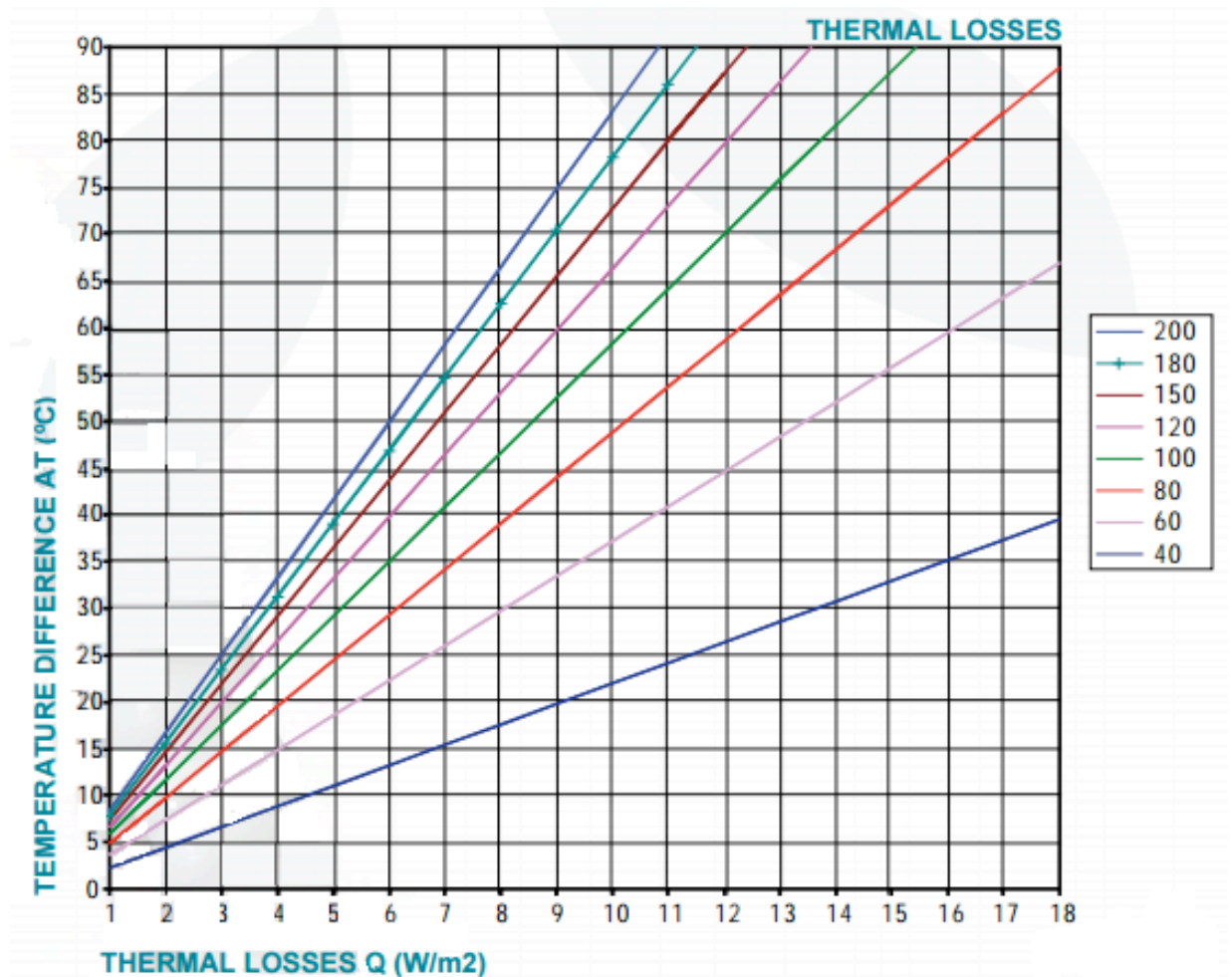


Figura 5: Relación espesor paneles-pérdidas térmicas-diferencia temperatura

Normalmente los paneles están compuestos por polímeros sintéticos, en el caso de la empresa estudiada las paredes tienen una estructura tipo sándwich, el alma está ancho. El aislante es inyectado mediante una prensa hidráulica entre dos paneles, caras exteriores tiene un acabado a partir de acero galvanizado en caliente de clase S250 con un espesores estándar de 0,5mm y laca de poliéster de 25 μm , eso le permite contar con mejores características mecánicas y le proporciona suficiente permeabilidad para que no haya paso de vapor entre las dos caras del panel (conductividad térmica del acero entre 47-58 $\text{W/m}\cdot\text{K}$).

- Techos: Dependiendo del tamaño y la temperatura de trabajo existen varias posibilidades en techos de una cámara de refrigeración. En las cámaras más pequeñas se podrán utilizar paneles con parámetros verticales con acabados especiales. En el caso de Sucatrade, al ser cámaras de mayor tamaño los paneles van colgados de la estructura matriz, en el anexo se puede ver una imagen de la estructura del techo del almacén. Las planchas son de la misma estructura de poliuretano expandido de 200 mm de espesor.

- Suelos: Depende de la temperatura de trabajo de la cámara, ya que al estar por debajo de 0°C será necesario un suelo tratado que no congele por la humedad, hecho que produciría el levantamiento del mismo y el deslizamiento tanto de carga como del personal. En instalaciones como el caso de Sucatrade donde exclusivamente va a haber almacenamiento sean en cámaras de refrigeración o en cámaras de congelación la instalación del suelo no requiere un tratamiento muy explícito dado que no se va a manipular apenas mercancías. Únicamente esta preparado para el almacenaje y el tránsito de pequeñas máquinas transportadoras. Para impedir que el calor y humedades se transmitan por el suelo este lleva como aislante 120 mm de poliestireno extrusionado de alta resistencia, un mallazo armado y 15 cm de hormigón como solera más una zona de drenaje. El acabado del interior de la cámara es de chapa plastificada con PVC antideslizante de 1 mm de espesor total.

3.4. Productos

Los productos alimenticios perecederos requieren de una conservación especial durante su transporte. La empresa Sucatrade se encarga de la importación, transporte y logística de carnes y pescados, este tipo de alimentos necesitan de una serie de características especiales en su camino hasta los consumidores. Después de que los animales sean sacrificados la carne y el pescado son atacado por microorganismos si estos se encuentran a temperatura ambiente. Este hecho hace que su periodo de conservación a dicha temperatura sea de 2 a 3 días, por esta razón es necesaria su refrigeración para que siga siendo comestible al cabo de largos periodos.

Los procesos de sacrificio, desollado y corte de la carne en el matadero se hacen entre las temperaturas de 4°C y 7°C grados para reducir la contaminación del alimento. En estas condiciones el matadero puede establecer un suministro con un stock de entre 2-3 semanas para abastecer a supermercados y otras empresas. Cuando el destino de la carne es la exportación y es necesario un periodo mayor de 3 semanas antes de que esta deje de ser comestible, entonces se aplica el proceso de congelación. Para ello un equipo frigorífico envía fuertes corrientes de aire de entre -30°C y -40°C grados, la carne requiere que este proceso sea rápido para que durante la congelación no se produzcan grandes cristales que puedan romper las fibras del alimento. En algunas ocasiones se produce un deshuesado de las piezas para así tener un ahorro en peso y en volumen. Una vez congelada, la carne tiene que seguir en ese estado para llegar en las mejores condiciones al consumidor por lo tanto es necesario una infraestructura de almacenamiento y transporte que cumpla con este requisito^[12].

El pescado es más sensible al ataque de bacterias, incluso siendo enfriado a temperaturas cercanas a los 0°C este tiene una vida comestible de pocos días, por ejemplo pescados como el bacalao y el salmón duran 3 días, el camarón 2 y el atún y arenque 1. Por esta razón la congelación es un proceso necesario en el pescado, después de que en la planta de procesamiento se limpie, clasifique, corte y filetee se congela en la cámara frigorífica con corriente de entre -30°C y -40°C^[13].

Los buques cargueros llegan al puerto de Tema con los productos congelados, estos son transportados hasta las cámaras frigoríficas donde reposan a -20°C hasta que son distribuidos por el país. A parte de la temperatura también es importante fijarse en otros parámetros para la conservación de los congelados, la humedad relativa interior de la cámara debe ser muy alta, próxima al 100% para que así las pérdidas en peso sean poco significativas. Estas pérdidas de peso están causadas por la sublimación que tiene como consecuencia la desecación de la superficie de los alimentos. En la superficie agrietada que se forma tiene lugar procesos de oxidación que llevan a la decoloración de los alimentos, pérdidas de sabor y favorece la captación de olores externos en el producto. Otro factor que ayuda a rebajar las pérdidas de peso es la forma de empaquetado del producto, si se encuentra apilado unos junto a otros la superficie externa total de los productos será inferior que si se encuentran sueltos reduciendo así la transferencia de masa. Estos factores serán importantes para evitar así grandes pérdidas, si se aplica un correcto control de la humedad se pueden rebajar las pérdidas de peso hasta ser de un 0.2% al mes.

En la siguiente tabla se muestran algunos datos para la correcta conservación de los alimentos y cuanto tiempo pueden estar estos en el almacén antes de que dejen de ser comestibles:

Producto	Temperatura °C	Humedad %	Días
Vaca	-18 a -20	90	365
Ternera	-18 a -20	90	300
Cordero	-18 a -20	90 a 95	270
Cerdo	-18 a -20	90 a 95	160
Pescado graso	-18	90	120
Pescado magro	-18	90	240
Pescado plano	-18	90	270

Tabla 7: Condiciones de refrigeración de carne y pescado^[13]

4. Funcionamiento máquinas de refrigeración

En la generación de frío industrial existen varias posibilidades a la hora de diseño de ciclos para la refrigeración. Aunque todos los ciclos se basan en la utilización de evaporadores y condensadores, estos se pueden complementar con otros sistemas que aumenten su rendimiento, además también existen distintas variedades en la forma de hacer el salto de la parte de bajas presiones a la zona de altas. A continuación se explican algunos sistemas de refrigeración como el de compresión mecánica, el de absorción, adsorción y eyección. Finalmente se establecerá una comparación entre los distintos funcionamientos.

4.1. Funcionamiento por compresión mecánica

La refrigeración por compresión consiste en forzar mecánicamente la circulación de un refrigerante por un circuito cerrado, con el propósito de que el fluido absorba calor del ambiente, para luego cederlo de nuevo generando frío. Actualmente este es el sistema más usado para la producción de frío debido a sus altos rendimientos y simplicidad de funcionamiento. Estos sistemas necesitan ser alimentados por energía eléctrica para poder llevar a cabo su función. El consumo energético representa el aspecto negativo en este tipo de máquinas ya que representan un alto porcentaje del gasto eléctrico global.

El ciclo de compresión simple está compuesto por un compresor, un evaporador, una válvula de expansión y un condensador dividiendo el sistema en dos zonas: la de alta presión (condensador y válvula de expansión) y la de baja presión (compresor y evaporador). El encargado de proporcionar esta diferencia de presión y a su vez de proporcionar movimiento al refrigerante es el compresor.

En el ciclo de compresión simple se aporta presión al fluido refrigerante en el compresor, posteriormente este pasa por el condensador donde debido a la alta presión se condensa hasta llegar a ser completamente líquido cediendo calor al entorno a temperatura constante (cambio de fase). Una vez todo el refrigerante es líquido se conduce por un expansor donde su presión disminuye. Al disminuir su presión el refrigerante se evapora en el evaporador absorbiendo calor y por lo tanto generando frío hasta que queda completamente en estado gaseoso, de manera que regresa al compresor y empieza de nuevo el ciclo.

Para poder entender el recorrido que lleva a cabo el refrigerante durante el ciclo de una máquina frigorífica de forma visual se ha adjuntado diagrama de Mollier. En él se pueden ver los estados y transformaciones en cada uno de los elementos principales del ciclo.

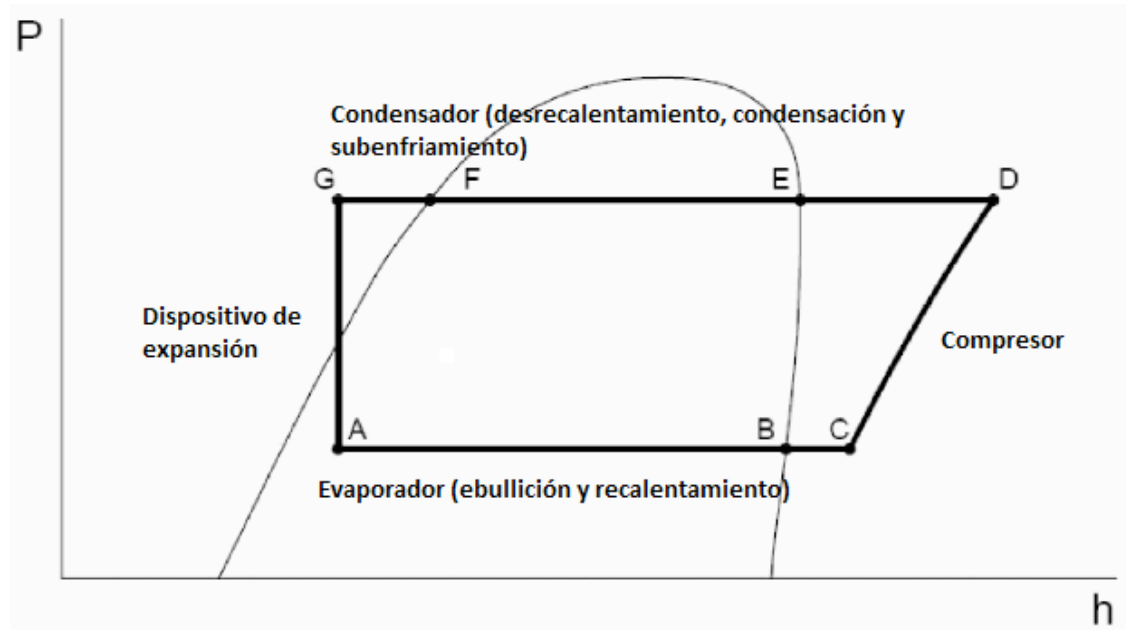


Figura 6: Diagrama de Mollier

- A: Mezcla de líquido y vapor, a la entrada del evaporador.
- B: Vapor saturado, normalmente en las últimas filas del evaporador.
- C: Vapor recalentado, en la aspiración del compresor.
- D: Vapor recalentado, en la descarga del compresor.
- E: Vapor saturado, en las primeras filas del condensador.
- F: Líquido saturado, dentro del condensador, cerca del final del mismo.
- G: Líquido subenfriado, a la salida del condensador.

En el caso estudiado para la empresa Sucatrade se requiere una temperatura de refrigeración de aproximadamente -20°C , esto puede provocar que la diferencia de presiones de entrada y salida del compresor sea superior a 1:7. Este hecho implica que la diferencia entre la temperatura del cambio de estado en el condensador y la reinante en el evaporador sea excesivamente elevada, cosa que produciría una descomposición del aceite lubricante del compresor. A su vez la alta diferencia de presiones implicaría una disminución del rendimiento volumétrico del compresor, esto provoca la disminución del rendimiento frigorífico y un aumento de la potencia suministrada al compresor.

Para poder paliar estos hechos se debe estudiar la aplicación de variaciones en el sistema, la solución son las instalaciones de compresión múltiple que se diferencian del caso anterior en que la compresión del refrigerante se produce en dos o más etapas. Hay diferentes tipos de sistema de compresión múltiple en función del método de compresión, los más comunes son el ciclo en cascada y el ciclo de compresión en doble etapa.

4.1.1. Ciclo en cascada

Usado cuando la diferencia de temperaturas entre condensador y evaporadores es muy elevada, consiste en la disposición en serie de ciclos simples de compresión de tal manera que el condensador de un ciclo a temperatura baja entregue calor al evaporador de un ciclo a temperatura superior. Al utilizar un sistema en cascada se disminuye la relación de compresión de cada sistema, lo que hace que la eficiencia volumétrica aumente en cada una de las etapas y, por lo tanto, el sistema en su totalidad sea más eficiente.

En el sistema en cascada el calor presente en el condensador es absorbido por el evaporador del segundo sistema de refrigeración presente. Este método es mucho más óptimo que la extracción de calor por procesos convectivos, ya que el entorno de absorción en el dispositivo condensativo es de menor temperatura que el aire que circula mediante el.

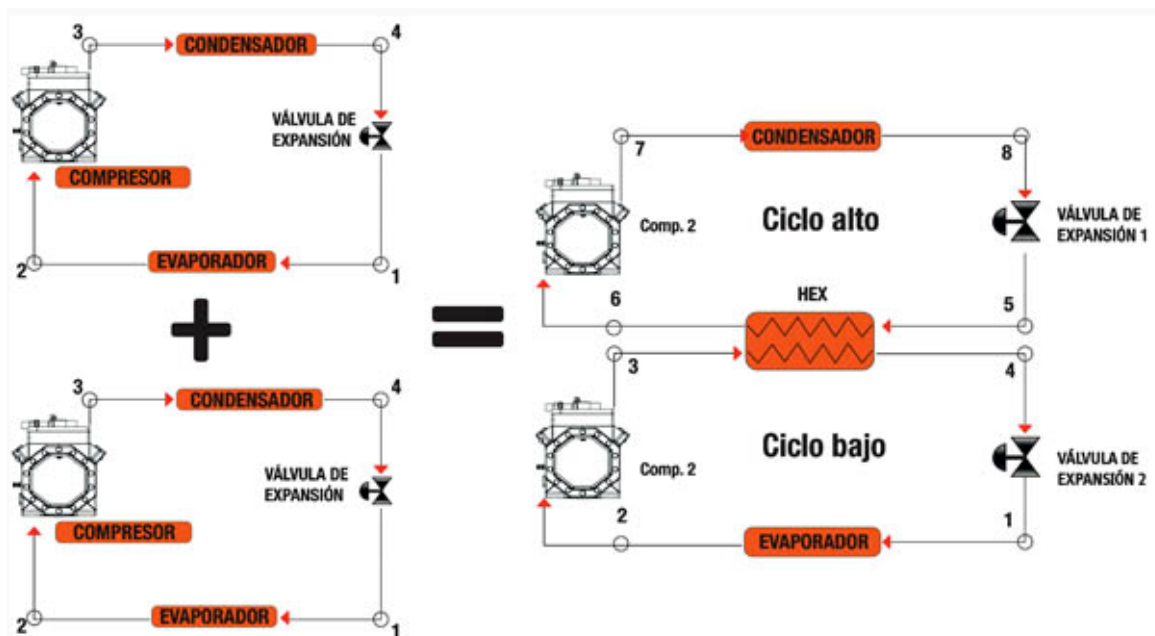


Figura 7: Compresión ciclo cascada

El refrigerante a usar varía en función de las temperaturas y presiones que se desean alcanzar, así habrá refrigerantes con mejores prestaciones que otros. Normalmente se utilizan refrigerantes llamados de alta presión, sus características permiten que la presión de succión sea positiva y no sea necesario trabajar en vacío aun cuando la temperatura saturada de succión (TSS) sea muy baja. Los refrigerantes R23 y R508B son los más populares para este tipo de aplicaciones. Debido a que en este ciclo se trabaja a bajas temperaturas en ocasiones es necesario aplicar un aislante al sistema para evitar que el refrigerante se congele.

Las ventajas del sistema en cascada son:

- Se disminuye la relación de compresión de cada sistema, lo que hace que la eficiencia volumétrica aumente en cada una de las etapas incrementando la eficiencia total.
- La temperatura de descarga disminuye en comparación a un sistema de una sola etapa lo cual beneficia la temperatura del aceite y a la buena lubricación del compresor

Y por otra parte sus inconvenientes son:

- Si la instalación se mantiene en parada durante un largo periodo igualar la temperatura del circuito de baja a la temperatura ambiente da lugar a fuertes presiones. Para paliar este efecto se adjunta un sistema de alivio consistente en un recipiente de volumen apropiado para impedir las pérdidas de fluido frigorífico.
- La transformación de calor en el intercambiador intermedio (evaporador alta-condensador baja) genera pérdidas.

Económicamente hablando la inversión para un sistema de refrigeración en cascada es más caro y requiere mayor inversión, pero si las condiciones de contorno lo exigen esta inversión debe realizarse o la vida útil de los sistemas disminuirá considerablemente. Para el correcto funcionamiento de los compresores estos se deben encontrar dentro de su límite de aplicación y se deben lubricar regularmente.

La temperatura del aceite debe estar dentro de los intervalos establecidos en su respectiva ficha técnica para asegurar que tenga la viscosidad adecuada para la lubricación del compresor. Si la temperatura del aceite es inferior a la especificada su viscosidad aumentara empeorando la lubricación. Para evitar este efecto se puede utilizar otro refrigerante que ayude a disminuir la viscosidad del aceite como el R600 (butano) o R601 (pentano). Normalmente este último método se debe que probar agregando solo gramos de estos refrigerantes hasta obtener el resultado necesario. La cantidad de R600 o R601 depende del tamaño del sistema.

Por otra parte al trabajar con temperaturas tan bajas se requiere un aislamiento tanto de tuberías como de todas las partes que están expuestas, siendo este aislamiento suficiente en las paredes donde la temperatura está debajo de 0°C.

Por las altas presiones de estos refrigerantes (R508B, R23, R744) son necesarias válvulas de alivio y/o un tanque de expansión como medida de seguridad. Así se evita que la alta

presión dañe la tubería o algún componente del sistema cuando se requiera mantenimiento o paros prolongados.

Hay varias industrias que se benefician de este tipo de sistemas. La industria farmacéutica congela sus productos con ciclos en cascada y luego los deshidrata con un conjunto de bombas de vacío. La industria aeronáutica y automotriz también se beneficia de este tipo de sistemas utilizándolos en cámaras de prueba donde necesitan temperaturas de 90°C para medir fiabilidad y duración de las partes.

En la industria alimenticia se utilizan sistemas en cascada para la conservación de congelados en grandes bodegas o centros de distribución. La alta eficiencia que proporciona un sistema en cascada frente a la de un sistema simple ofrece una gran reducción de costes así como un gran ahorro energético. Normalmente en los grandes almacenes se utiliza el refrigerante R744(CO_2) como refrigerante para las bajas temperaturas (-0°C). No obstante el problema de usar CO_2 es que la emisiones que este desprende, por ello muchas empresas que utilizan estos sistemas han buscado alternativas para disminuir estas emisiones.

Hay dos maneras de disminuir estas emisiones, la primera consiste en buscar sistemas más eficientes donde las emisiones producidas disminuyen; la segunda, consiste en buscar otros refrigerantes con un potencial de calentamiento global menor

4.1.2. Sistema de doble etapa

Los sistemas de doble etapa consisten en hacer pasar el refrigerante por dos etapas una de baja y otra de alta presión por medio de un solo compresor denominado compresor de doble etapa. El objetivo de estos procesos consiste en disminuir las temperaturas de evaporación sin aumentar su relación de compresión. Este sistema cumple con dos objetivos básicos:

- Disminuir el trabajo de compresión de los compresores para obtener una mejor eficiencia volumétrica.
- Disminuir considerablemente la temperatura de descarga obteniendo así un sistema con alta eficiencia energética.

Para la construcción de la instalación de refrigeración de doble etapa se requieren otros componentes propios de este sistema. Uno de ellos es un estanque en el cual conecta la succión y la descarga de ambos compresores de tal forma que se mantenga el circuito cerrado frente a la circulación de refrigerante.

El compresor descarga el refrigerante saturado proveniente del evaporador en el estanque

mezclándolo con el líquido a alta presión. Con esta combinación de diferentes presiones dentro de este estanque se mejora en el coeficiente de compresión del sistema, ya que los volúmenes que son succionados desde el estanque hacia el compresor son mucho mayores.

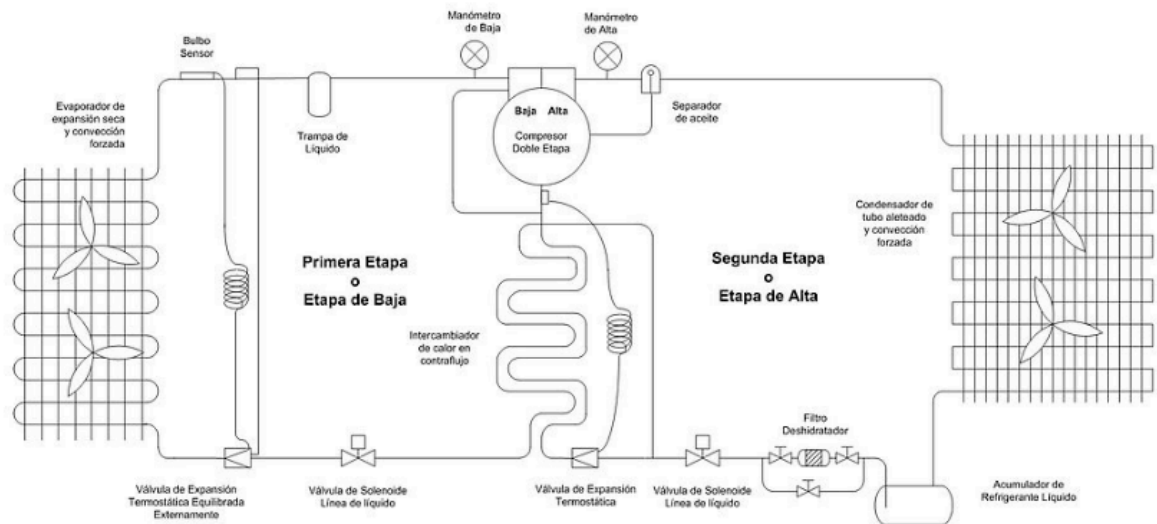


Figura 8: Sistema compresión doble etapa

Como resumen las ventajas de los sistemas de refrigeración por compresión mecánica son:

- Es una tecnología muy desarrollada por un gran número de empresas, cosa que hace que se disponga de mucha información para el estudio de los detalles técnicos.
- Es un sistema relativamente barato ya que no requiere de una tecnología excesivamente sofisticada, en adición las infraestructuras para instalar estos sistemas tampoco son de unas dimensiones desmesuradas ni es necesaria una elevada inversión para construirlas.
- Estos sistemas tienen un gran potencia frigorífica (COP elevados).
- Puede utilizar energía mecánica o eléctrica para su funcionamiento.

Y las desventajas:

- Las instalaciones de estos sistemas tienen un alto porcentaje de consumo eléctrico,

ya que todo su sistema de refrigeración está basado en la transformación de energía eléctrica en mecánica, de esta manera su consumo energético es elevado debido a que hay muchos aparatos que requieren de energía para su funcionamiento.

- Estos sistemas con refrigerantes que suelen ser nocivos, esto implica que haya un cierto riesgo toxicológico en caso de fuga de refrigerante.

Si el sistema de obtención de frío elegido es el de compresión mecánica se implantará un sistema de compresión mecánica simple, ya que este es el que tiene el precio más económico de los tres sistemas, además su mantenimiento es más económico y simple.

Desde el punto de vista de las temperaturas de trabajo el sistema más óptimo es el ciclo en cascada, sin embargo al necesitar más de un compresor y diferentes tipos de refrigerante este sistema implica una instalación y un mantenimiento más minucioso, complicado y caro que para el sistema de compresión simple. Por lo tanto haciendo un balance entre el aspecto económico y el funcional se ha determinado que el sistema más adecuado para el caso estudiado es el de compresión simple.

4.1.3. Mercado sistemas de compresión mecánica

El mercado de sistemas de compresión mecánica es muy extenso debido la simplicidad del sistema, este solo está formado por uno o más compresores en función del ciclo y ventiladores (a parte del su consiguiente sistema de tuberías y cableado), por lo tanto al ser máquinas de uso común es fácil encontrar proveedores con precios competitivos.

A continuación se enumeran algunos fabricantes con más impacto en el mercado mundial y las características de sus equipos:

- Bitzer: empresa alemana con la sede más cercana en Francia fabrica todo tipo de compresores, tanto para doble etapa como para ciclo simple. Debido a su amplia gama de productos la empresa dispone de un software con el que partir de las condiciones de uso (temp. condensación, temp. evaporación, refrigerante, etc) se pueden escoger los compresores que más se adecuan a las condiciones impuestas. Este mismo software consta de un apartado para la compra de condensadores y evaporadores en función del tamaño de los compresores.

Esta empresa ofrece productos para refrigeración industrial, frío comercial, etc. En el caso de la refrigeración de alimentos la empresa separa los productos en dos subgrupos, uno para las máquinas de potencia frigorífica entre 0 y 300 kW y otro para las máquinas con potencias frigoríficas superiores a 300 kW cubriendo un

abanico de temperaturas de refrigeración desde -50°C a 15 °C

- Tecumseh: es una empresa fundada en 1934 en Estados Unidos que basa su política de funcionamiento en la sostenibilidad ecológica de los productos que vende. Sus productos son reconocidos por tener consumos realmente bajos y con niveles sonoros también bajos, también dispone de productos de innovación promovidos por la misma empresa como el compresor en hélice, no obstante al ser productos relativamente nuevos no se dispone de suficiente información para hacer los cálculos pertinentes con dichas máquinas.

Esta empresa ofrece una variedad de compresores alternativos, muy interesantes al ser nuevos sistemas de compresión que consumen menos energía y a su vez tienen eficiencias más elevadas. Esta empresa no es considerada como opción ya que el rango de potencia frigorífica de los productos que ofrece va de 0 kW a 21,7 kW por lo tanto no es suficiente para el caso estudiado

- Dorin: consta de una amplia gama de productos y un software para elegir el compresor que más se adecua a las condiciones impuestas y al igual que Bitzer consta de un apartado para la compra de compresores y evaporadores.

Tiene compresores para muchas aplicaciones de frío industrial como conservación de alimentos, usos farmacéuticos, criogenización, etc. La potencia de sus máquina oscila entre los 0 kW y aproximadamente lo 400 kW cubriendo un abanico de temperaturas desde los -50°C a climatizaciones a 20°C.

4.2. Funcionamiento por absorción

Una máquina de absorción simple se asemeja a una de compresión en la medida de que está compuesta por un evaporador y un condensador. La diferencia reside en el método en que el refrigerante pasa de la zona bajas presiones a la zona de altas. Como se ha dicho anteriormente en el funcionamiento por compresión el método es mecánico, el funcionamiento por absorción resulta más complejo. Para hacer dicho salto de presiones el sistema utiliza un segundo fluido llamado absorbedor que tiene una afinidad físico-química con el refrigerante.

En el ciclo simple, el refrigerante que sale del evaporador llega al absorbedor donde es captado por el líquido absorbente. Este proceso es exotérmico por lo que necesita una refrigeración externa que mantenga las condiciones de presión y temperatura necesarias. Posteriormente la mezcla llega al generador, donde por medio del suministro de calor el refrigerante y el absorbedor se separan. Para completar el proceso correctamente se busca

que el absorbedor no sea muy volátil ya que no interesa que en la separación de fluidos puedan quedar restos de absorbente que lleguen hasta el evaporador.

Si la máquina está compuesta además por una bomba entre absorbedor y generador esta se encargará de hacer subir la presión, en caso contrario el encargado será la fuente de calor del generador. Una de las claves de este ciclo es que el sistema de bombeo tiene un gasto eléctrico muy inferior (entre el 1-5% de la potencia de refrigeración total) al método de compresión por lo que permitirá al sistema reducir la energía eléctrica consumida. En este proyecto se busca una máquina que sea lo más independiente posible de la red eléctrica por lo que la tecnología que utiliza la máquina de absorción se acercara a las necesidades que la empresa requiere.

Una vez las dos sustancias son separadas en el generador recorren caminos diferentes. El absorbente regresa al absorbedor tras expandirse, el refrigerante llega al condensador donde libera su calor latente y se condensa. Al salir del condensador el líquido pasa por una válvula de expansión, donde se reduce la presión antes del evaporador. La válvula de expansión se adapta a las pérdidas de cargas necesarias. En el evaporador se produce el efecto frigorífico ya que el refrigerante se evapora absorbiendo la energía del fluido del espacio que se quiere refrigerar.

Es importante que durante el proceso no se arrastren partículas del adsorbente, este hecho podría producirse a causa de ciertas condiciones de concentraciones y temperatura. Si estas partículas llegasen al evaporador pueden variar la presión de trabajo, y en el caso de que se utilizase el par bromuro de litio-agua podría producirse la cristalización del absorbente lo que supondría el mal funcionamiento del equipo.

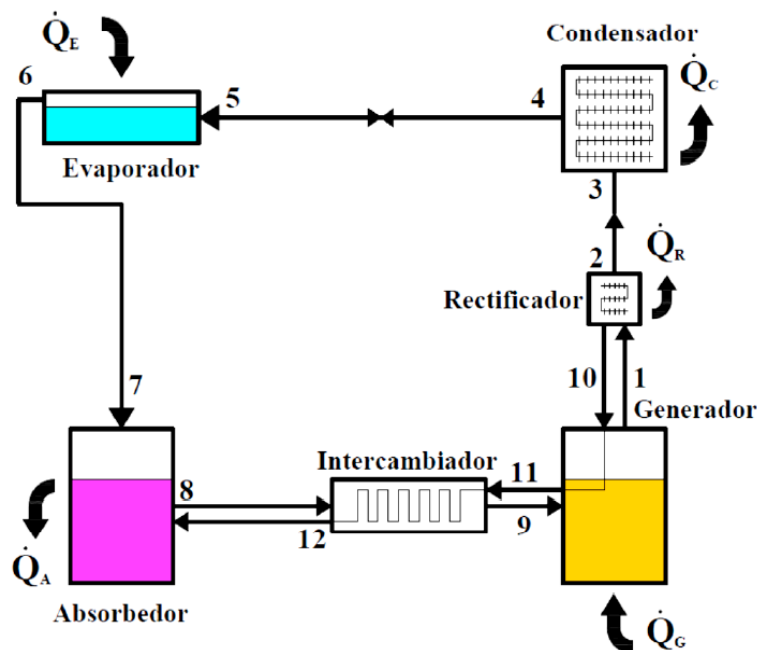


Figura 9: Ciclo de absorción simple efecto

A partir del ciclo simple se le pueden añadir algunas aplicaciones que ayudan a mejorar el rendimiento y funcionamiento del sistema. Una de las aplicaciones consiste en un intercambiador entre el fluido que va del absorbedor al generador y el que hace el camino en sentido contrario. Este circuito aprovecha la energía del absorbente que viene del generador después de ser calentado para hacer un precalentamiento de la mezcla de fluidos que se dirige hacia el generador. El intercambio indirecto entre los fluidos permite que el poder calorífico administrado al generador sea inferior y que el calor que tenga que disipar el absorbedor disminuya. El ciclo de simple efecto con intercambiador tendrá un COP de entre 0.65-0.77. El rectificador ubicado a la salida del generador se encarga de enfriar la salida de vapores del generador para que en el par $\text{H}_2\text{O}-\text{NH}_3$ el agua condense y disminuir así el porcentaje de agua en amoníaco del ciclo. Este hecho es muy importante ya que si circula agua por la válvula de expansión, esta se puede congelar y romper la válvula.

Los ciclos de absorción por simple efecto de amoníaco-agua tienen una gran utilización en la aplicación de frío industrial en aquellas empresas que necesitan un gran salto térmico, en las que la temperatura exterior y la temperatura fría distan considerablemente. Son muy útiles en las industrias alojadas en climas de escasez de agua, donde deben aplicarse enfriamiento seco a alta temperatura ambiente. Por otro lado habrá que sumarle la posible utilización de una torre de refrigeración que aumentará el coste y mantenimiento.

Si únicamente se dispone de fuentes térmicas de bajas temperaturas que llegan a temperaturas de entre $65-80^\circ\text{C}$ entonces es necesario utilizar ciclos de efecto mitad. Estos ciclos se caracterizan por disponer de un doble sistema de transmisión de bajas presiones a altas presiones. Está formado aparte de por el evaporador, el condensador y la válvula de expansión por dos generadores, dos absorbedores, dos intercambiadores y dos bombas. La diferencia que reside en ellos y que hace que puedan trabajar con fuentes de tan bajo poder calorífico es que a parte de los dos niveles de presión con los cuales trabajan los ciclos de simple efecto hay que añadirle otro nivel intermedio. Este nivel intermedio de presión se encontrara entre el generador de baja presión y el absorbedor de alta presión. Uno de los inconvenientes de los ciclos de efecto mitad es que la utilización de fuentes a tan baja temperatura hace que el COP se muy bajo, llegando a 0.35. Este bajo rendimiento hace que su uso comercial sea prácticamente nulo.

El COP de los ciclos de simple efecto son inferiores a los que se consiguen con los compresores mecánicos por lo que surge la necesidad de aplicar mejoras con el objetivo de aumentar su rendimiento. Con la intención de aumentar este rendimiento surgen los ciclos de absorción de doble efecto, estos están formados por dos generadores (de alta y baja presión), dos condensadores, dos válvulas de expansión, dos recuperadores de calor de disolución, un evaporador y un absorbedor. Al introducir una nueva etapa (condensador) en el ciclo se incrementa la temperatura y presión de trabajo. En el caso de estar utilizando como fluidos $\text{LiBr}-\text{H}_2\text{O}$ este aumento de presión será admisible, si se utiliza $\text{H}_2\text{O}-\text{NH}_3$ el

sistema no podrá ser aplicable ya que este par de fluidos trabaja ya a presiones altas por lo que aplicando a un ciclo de doble efecto provoca que el sistema tenga que disponer de una extrema robustez que lo hace inviable. Aplicando el ciclo de efecto doble el COP aumenta hasta valores de 1.1-1.35, esto se debe a que al tener dos generadores, se producen dos separaciones distintas de la solución con un mismo aporte térmico.

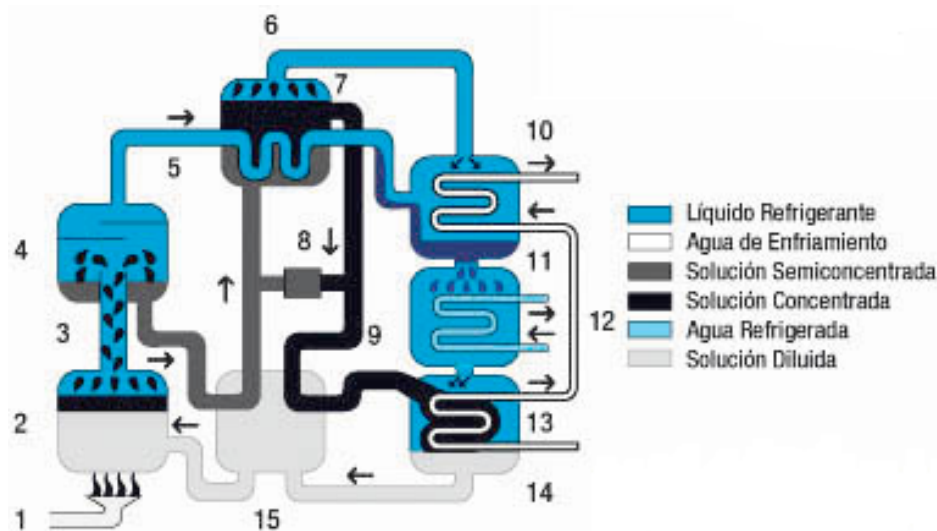


Figura 10: Ciclo de absorción doble efecto

Durante la descripción de los ciclos por absorción se han estado nombrando distintos pares absorbente-refrigerante y las distinciones que se producen en la utilización de cada uno. Es importante prestar atención al fluido utilizado como refrigerante ya que de él dependen parámetros como rendimiento, seguridad, coste... Existen distintas posibilidades de soluciones absorbente-refrigerantes pero los más utilizados son $\text{LiBr-H}_2\text{O}$ y $\text{H}_2\text{O-NH}_3$.

La mezcla bromuro de litio-agua se caracteriza por tener el inconveniente de que la temperatura del agua no puede bajar de los 0°C ya que se produce la congelación. Es importante tener en cuenta pues que esta solución no podrá ser utilizada para congelación a temperaturas inferiores de 0°C y que trabaja normalmente en refrigeración de entre 4°C y 10°C . Por otro lado al ser el agua con mayor calor latente de condensación y evaporación permite que el caudal utilizado en el sistema sea mucho menor por lo que es ideal para trabajos en grandes espacios, eso sí, siempre a temperaturas positivas.

Entre las ventajas de esta mezcla destaca que las sustancias no son tóxicas ni inflamables y que no es necesario el uso de rectificador a la salida del generador consecuencia de que al suministrar el calor al generador, la corriente de vapor que se crea es prácticamente pura debido a la diferencia de temperaturas de ebullición de los fluidos. Su gran inconveniente consiste, como ya se ha dicho anteriormente, que únicamente puede trabajar a temperaturas positivas. Este hecho influye notablemente en el estudio de las máquinas de

congelación para su utilización en la empresa de Ghana, ya que la temperatura de la cámara frigorífica que esta necesita está fuera del rango de la que la mezcla bromuro de litio/agua puede suministrar.

El par agua-amoniaco ha sido utilizado en máquinas de absorción desde finales del siglo XIX. El amoniaco como refrigerante representa un cambio sustancial respecto al agua ya que su temperatura de congelación es $-77,7^{\circ}\text{C}$, este hecho permite trabajar a temperaturas inferiores a 0°C por lo que es una mezcla muy extendida en la industria de la conservación de productos congelados. La posibilidad de utilizar directamente quemadores de gas para refrigeración también ha significado uno de los puntos más importantes para la extensión de la utilización de esta solución. Por otro lado también presenta algunas desventajas, entre ellas la más importante es su baja relación de volatilidad entre refrigerante y absorbente, lo que provoca la necesidad de instalar rectificadores en la salida del generador. Al contrario que el par $\text{LiBr-H}_2\text{O}$ el amoniaco si que presenta toxicidad. Además la presión en la parte alta del circuito es bastante más grande lo que significaba la negativa a utilizar máquinas de doble efecto ya que crearía presiones en el generador excesivamente altas para que este pudiera soportarlo. La entalpía específica de vapor del amoniaco es inferior a la del agua por lo que el caudal que recorra el circuito deberá ser mayor para alcanzar las temperaturas requeridas.

Otra división que se plantea en los sistemas industriales de cámaras de congelación es según el modo de enfriamiento del condensador. Como se ha descrito durante el proceso, cuando se produce la absorción se libera energía por lo que será necesario un refrigerante que se ocupe de absorber todo este calor. Según el tamaño y potencia de la máquina se utilizará aire o agua. En el caso del agua absorberá esta energía y la disipará en una torre de refrigeración. La misma agua suele ser utilizada después de refrigerar el absorbente en el condensador antes de dirigirse a la torre.

En los sistemas de condensación por agua después de que el agua absorba el calor durante su paso por el condensador y el absorbente se dirige hacia una torre de refrigeración. En esta torre es pulverizada y transfiere su calor latente al aire atmosférico. Los inconvenientes de este sistema de condensación son su fuerte inversión inicial y el mantenimiento, aparte del gasto en agua.

La ventaja principal de los sistemas de condensación por aire es que se ahorra en la instalación de torres de refrigeración. El aspecto negativo es que al tener el aire menor coeficiente de transferencia que el agua se necesitará más área para poder disipar el calor del refrigerante, por lo que las máquinas tendrán un mayor tamaño. La condensación por aire acerca el ciclo de trabajo a zonas de cristalización del bromuro de sodio, como en el caso estudiado se trabajará con temperaturas negativas este no será un problema ya que el ciclo del amoniaco se aleja de estas zonas peligrosas.

4.2.1. Mercado máquinas de absorción

Aunque el mercado de la refrigeración está copado por los compresores mecánicos existen varias empresas fabricantes a nivel mundial que se han especializado en las máquinas de absorción, algunas de ellas son las que se nombran a continuación.

- Colibrí bv: La empresa es uno de los líderes en el campo de la tecnología de absorción de amoníaco-agua mundial. Desde hace más de 25 años, Colibrí bv suministra enfriadores de absorción con el rendimiento de ingeniería adecuado. Proporciona enfriadores de absorción con amoníaco como refrigerante para temperaturas de enfriamiento de hasta -60°C y capacidades de 150 kW a varios MW. Para la fuente térmica se utiliza cualquier fluido o gas con una temperatura mínima específica que pueda utilizarse como fuente para la energía motriz. Los más comunes son el vapor, el agua caliente o las plantas de llama directa.

En el sector de la conservación de alimentos ya han llevado a cabo varios proyectos, en España existe un ejemplo de una planta de potencia frigorífica de 800 kW a temperatura de evaporador de -15°C . Otro caso es una instalación en Portugal también de conservación de alimentos con temperatura de evaporador de -34°C y potencia frigorífica de 900 kW.

- AGO AG Energie + Anlagen: Esta empresa trabaja con máquinas de absorción de amoníaco / agua con temperaturas de salida de enfriamiento de hasta -28°C . Principalmente la fuente de calor utilizada en el generador proviene del calor residual que se acumula durante un proceso industrial, a través de la generación de electricidad por medio de un motor de gas o turbina de gas o por el calor residual de procesos de combustión. Sus capacidades frigoríficas van desde los 50 kW hasta aproximadamente los 1.000 kW.
- Thermax: La empresa dispone de máquina de absorción de vapor de amoníaco que puede utilizar diversas fuentes de calor como vapor, agua caliente, combustible y escape. Estas máquinas atienden demandas de enfriamiento negativo (por debajo de 0°C) y pueden alcanzar una temperatura del agua enfriada de hasta -60°C . La capacidad de estas máquinas oscila entre 175 y 1582 kW para unidades de embalaje estándar y hasta 3516 kW para unidades de diseño personalizadas.

4.3. Funcionamiento por adsorción

El proceso de adsorción funciona de la misma manera que los ciclos descritos anteriormente, en este caso pero el paso del refrigerante de bajas presiones a altas no se hará mediante la compresión mecánica o la absorción sino que se producirá un proceso reversible en el cual el gas refrigerante es fijado a un sólido, normalmente poroso. El proceso de adsorción del adsorbato en el adsorbente es un proceso exotérmico mientras que la desorción es un proceso endotérmico. Se pueden diferenciar dos tipos distintos de adsorción, el primero es la física en el cual los dos componentes sólo interactúan por la fuerza de Van der Waals. Este tipo de unión se caracteriza porque el refrigerante y el adsorbente están ligados débilmente y el calor necesario para separarlos es de pocos kJ. El otro método es la adsorción química, en este caso el proceso de adsorción se hace mediante la formación y rotura de los enlaces. Aunque la interacción no va más allá de las primeras capas superficiales de material estas uniones caracterizan por ser más fuerte, por lo que se necesitará más energía a la hora de hacer la separación de los componentes.

El par adsorbato-adsorbente más utilizado es el compuesto por gel de sílice y agua, el aspecto negativo es que la utilización del agua como refrigerante no permite que se puedan trabajar a temperaturas negativas.

El ciclo está compuesto por dos cámaras de adsorción que trabajan en paralelo, mientras el refrigerante sale del evaporador y va entrando en la primera cámara este va siendo absorbido por el adsorbente produciendo un proceso exotérmico. En la otra cámara se produce el proceso endotérmico contrario mediante una fuente de calor que provoca la desorción refrigerante-adsorbente que provoca que el refrigerante se desplace hacia el condensador. Una vez que una cámara esté seca y la otra se encuentre saturada se invierten los papeles automáticamente.

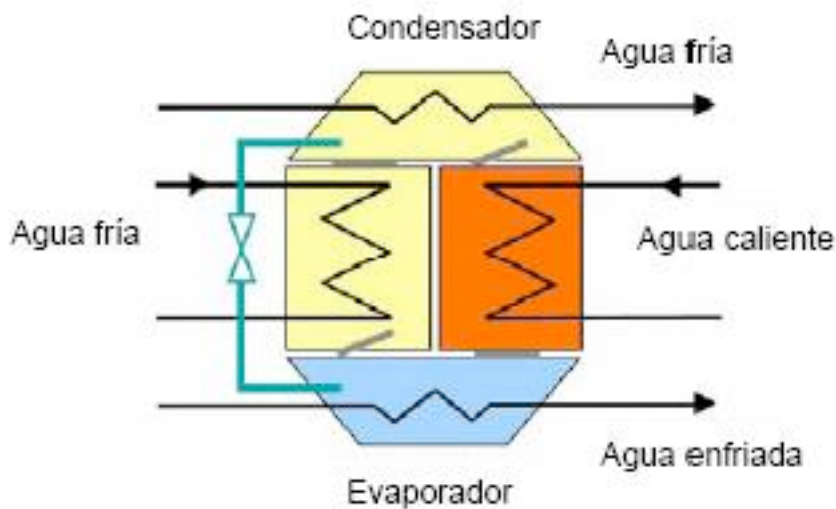


Figura 11: Ciclo de adsorción

La máquina que se muestra en el esquema corresponde al funcionamiento por simple efecto (COP ronda los valores de entre 0,36 y 0,66). Para poder mejorar el COP de dicha máquina se estudian sistemas para el aprovechamiento de todo el calor residual antes de ser desechado del sistema de refrigeración. Aumentando el número de cámaras y evaporadores se consigue aumentar el rendimiento. Mediante las máquinas de doble efecto (4 cámaras), o triple efecto (6 cámaras) se pueden alcanzar niveles de COP de 0,7 y 1,5 respectivamente. Actualmente estas dos tecnologías siguen en proceso de desarrollo y no todavía no hay una gran implantación en el mercado.

Por otro lado se asemeja a los sistemas de absorción por el hecho de necesitar un mantenimiento reducidos, las partes móviles que se encargan de la rotación de las cámaras son simples amortiguadores barométricos que se abren automáticamente cuando la presión en el interior de las cámaras cambia. Además las válvulas de control del agua están diseñados para durar toda la vida la máquina refrigerante.

Las desventajas de estas máquinas residen en que tienen una potencia pequeña comparada con la que se puede conseguir con otras tecnologías, su COP tiene valores bajos y solo se puede trabajar con temperaturas positivas utilizando agua como refrigerante ya que hay poco desarrollo tecnológico con otro tipo de fluidos refrigerantes y adsorbentes^[14].

4.3.1. Mercado máquinas de adsorción

La tecnología para trabajar con temperaturas negativas en los sistemas de adsorción todavía está en fase de desarrollo por lo que no se pueden encontrar empresas que se dediquen a ese sector. De todas formas sí que hay empresas que trabajen con esta clase de sistemas de enfriamiento aunque a un rango de temperaturas que no se adecua al caso práctico.

	Potencia (kW)	COP	Temperatura agua fría (°C)	Par refrigerante-adsorbente
SORTECH ACS 08	8	0.6	6-20	Gel de sílice / Agua
SORTECH ACS 15	15	0.6	6-20	Gel de sílice / Agua
GBU	50-430	0.55-0.62	3-14	Gel de sílice / Agua
Inversor LTC 09	9	0.61	10-24	Zeolita / Agua
Inversor HTC 11	11	0.53	10-24	Zeolita / Agua
NISHIYODO ADCM	11-1200	0.65	6-15	Gel de sílice / Agua
SWAC	8.5	0.4	5	Gel de sílice / Agua

Tabla 8: Modelos de máquinas de adsorción

Como se puede comprobar en la tabla, aunque el rango de potencias es amplio, el de temperaturas no lo es. Sumándole a esto el hecho de tener COPs bajos este tipo de tecnología no será adecuado para el caso de Ghana.

4.4. Funcionamiento por eyección

Al igual que en los sistemas de refrigeración por absorción y compresión en los sistemas de refrigeración por eyección el efecto frigorífico se produce por un cambio de fase. Pero al contrario que en los sistemas de compresión, y al igual que en los sistemas de absorción, la compresión que debe sufrir el fluido refrigerante para producir el frío de forma cíclica no tiene lugar en un compresor, sino que la presión del fluido se incrementa por un intercambio de energía cinética en entalpía por medio de un difusor.

Este método de compresión tiene la ventaja de no consumir energía, sin embargo esto no significa que el ciclo de refrigeración por eyección carezca de consumo energético, lo tiene pero exclusivamente en energía térmica, ya que para poder imprimir al fluido la energía cinética previamente es necesario aumentar la entalpía de una porción del fluido refrigerante en el denominado generador.

El ciclo de refrigeración por eyección está compuesto por un evaporador, un condensador, una válvula de expansión, una bomba, un generador y un eyector (difusor y tobera). En el difusor se incrementa la presión intercambiando la energía cinética en entálpica, en la tobera se produce el efecto contrario. El eyector tiene dos funciones, la primera es succionar el refrigerante que proviene del evaporador a baja presión mediante el efecto Venturi creado por la expansión de flujo de vapor de agua. La segunda es comprimir la mezcla de vapor de agua proveniente del generador y del evaporador hasta su nivel de presión de condensación, utilizando la energía cinética del fluido en el paso de régimen supersónico a régimen subsónico. Al igual que en la máquina de absorción también es necesario aplicar una fuente térmica en el generador.

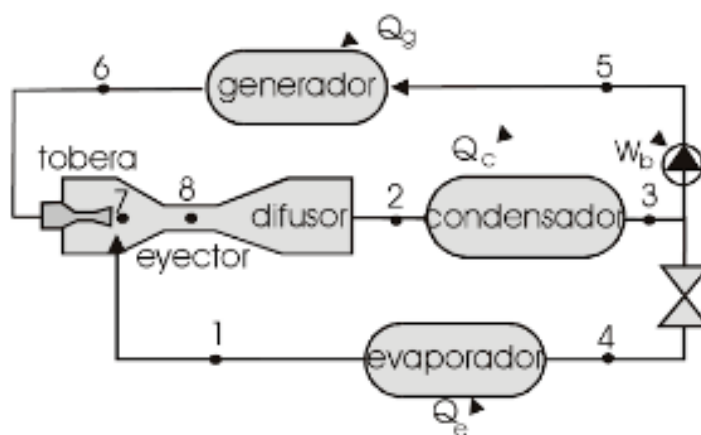


Figura 12: Ciclo eyección

El fluido refrigerante más usado en los sistemas de eyección es el agua. Esto condiciona tanto el rango de trabajo como las dimensiones de estos sistemas, limitándolos a temperaturas de evaporación superiores a 0°C . También se utilizan salmueras, es decir, disoluciones de agua con sales que trabajan a temperaturas de ebullición con lo que se amplía ligeramente en rango de trabajo. De todas formas, a estas temperaturas la evaporación del agua ocurre a muy baja presión, por lo que el vapor generado tiene un gran volumen específico. Esto obliga a grandes tamaños de la instalación.

En cierto sentido, estos sistemas ocupan un sector de aplicación similar al de los sistemas de refrigeración por absorción, ya que son adecuados para el aprovechamiento de fuentes térmicas de baja temperatura, sin embargo, la necesidad de sus grandes tamaños limita su utilización en ámbitos industriales.

Para el caso estudiado de la empresa Sucatrade, el sistema de eyección no es una solución factible debido a que la temperatura de evaporación que se puede alcanzar con estos sistemas no es lo suficiente baja para las condiciones requeridas, en adición el tamaño de estas instalaciones es muy grande para el poco frío que genera. No obstante existe la posibilidad de combinar este sistema con el de compresión mecánica mediante refrigerantes

de alta presión como el CO₂, de manera que las dimensiones del eyector son mucho más reducidas y se pueden alcanzar temperaturas inferiores, pero debido a la falta de información de estos sistemas no se considerará como una solución factible.

4.4.1. Mercado de sistemas de refrigeración por eyección

Debido a las grandes dimensiones de estas instalaciones hay muy pocas empresas dedicadas a la venta de sistemas completos de refrigeración por eyección. No obstante existen una serie de empresas fabricantes y distribuidoras de eyectores que en ocasiones también fabrican el resto de elementos del sistema de refrigeración:

- Inmateinsa: esta empresa se encarga de la fabricación de eyectores para uso industrial así como un conjunto de sistema de máquinas de vacío.
- Equirepsa: esta es una empresa especializada en sistemas de refrigeración con vacío mediante eyectores y bombas y a su vez también está especializada en intercambiadores de calor.

4.5. Comparación de ciclos de refrigeración

En la siguiente tabla se hará una comparación entre los distintos métodos descritos anteriormente según las características que se buscan para los almacenes de Sucatrade.

	Compresión mecánica	Absorción	Adsorción	Eyección
COP	Ciclo simple: 0,8-4,3 Ciclo doble etapa: 1,2-4,5 Ciclo cascada: 0,8 - 5	Ciclo simple efecto: 0,65-0,75 Ciclo doble efecto: 1,1-1,35	Ciclo simple efecto: 0,36 y 0,66 Ciclo doble efecto: 0,7 Ciclo triple efecto: 1,5	Simple, raramente supera la unidad: 0,6-0,8
Energías renovables	Necesita energía eléctrica: Energía solar fotovoltaica, eólica o hidroeléctrica.	Necesita fuentes de calor: Biomasa, Solar, Geotérmica o aprovechamiento de calores residuales de procesos industriales	Necesita fuentes de calor: Mayoritario desarrollo con energía solar	Necesita fuentes de calor: Biomasa, Solar, Geotérmica o aprovechamiento de calores residuales de procesos industriales
Rango de temperaturas	R 404A: -40°C a -10°C CO ₂ -NH ₃ : -0°C a -10°C	LiBr-H ₂ O: 4°C a 10°C H ₂ O-NH ₃ : 0°C a -70°C	Gel de sílice/Agua: superiores a 0°C	Agua: temperaturas superiores a 0°C
Refrigerantes	Altas presiones: CO ₂ Sistema en cascada: CO ₂ -NH ₃ Otros como: R404A o R134A	Agua: no tóxico ni inflamables. Amoníaco: tóxico, no compatible con máquinas de doble efecto	Gel de sílice / Agua Zeolita / Agua: Consumos menores para trabajar con potencias más elevadas	Agua o salmueras, soluciones de agua con sales, para aumentar punto ebullición.
Mercado	Existencia de varias empresas como: <ul style="list-style-type: none">• Bitzer• Dorin• Tecumseh	Existen varias empresas en el sector: <ul style="list-style-type: none">• Colibri bv• Ago congelo• Thermax	Empresas como : <ul style="list-style-type: none">• GBU• Sortech No en el sector congelación	Empresas como: <ul style="list-style-type: none">• Inmateinsa: sistemas de vacío y eyectores.• Equirepsa: sistemas de refrigeración por vacío
Mantenimiento	Elementos móviles y con vibraciones: compresor y ventiladores.	Bajo y fácil, ya que no dispone de dispositivos móviles o eléctricos.	Bajo y fácil, pocos elementos móviles y eléctricos. No vibraciones	No elementos móviles, pero posible erosión de los materiales del eyector.
Rango de potencias frigoríficas	De 10 kW a 700 kW	De 50kW a MW	De 8 kW a 1200kW	

Tabla 9: Comparación tecnologías de refrigeración

Al observar la tabla el primer sistema que se descarta es el de la refrigeración por eyección ya que las instalaciones ocupan mucho espacio y en adición las temperaturas de evaporación obtenidas con estos sistemas no son lo suficientemente bajas para las condiciones del caso estudiado.

Lo mismo ocurre con los sistemas de adsorción, que a pesar de que su tamaño es más reducido que el de los sistemas de eyección tampoco alcanza las temperaturas necesarias para el caso de la empresa Sucatrade.

Por otro lado los sistemas de compresión mecánica (que ya dispone actualmente) y el de absorción si que cumplen los requisitos que se planteaban en los objetivos y podrían cumplir tanto con las pretensiones de generación in situ, aislamiento de la red y combustibles renovables como del condicionamiento de mantenimiento de carnes y pescados.

A continuación se hará una comparación más específica entre los dos resultados que resultan más viables. Para poder llevar a cabo esta comparación se observará en primer lugar los valores del COP de cada uno de los ciclos. En los sistemas por compresión mecánica el COP se calcula como el calor extraído entre el trabajo del compresor. En cambio al no haber trabajo mecánico en el sistema de absorción, el COP se calculará por el calor de la fuente térmica.

Por lo general las máquinas de absorción tienen un COP inferior a las de compresión mecánica, sin embargo el calor suministrado al generador puede ser de muy bajo coste, haciendo que el proceso sea más rentable. De manera aproximada, los sistemas de compresión mecánica tiene un COP de un 2,5 mientras que el de las máquinas de absorción simples son de 0,65-0,77 pudiendo a llegar a 1,1-1,35 en las máquinas de doble efecto. Cabe destacar que para hacer una correcta comparación es interesante estudiar el ciclo desde la generación de electricidad para su posterior utilización en el compresor. De esta forma si comparamos dos sistemas utilizando la misma cantidad de biomasa se puede observar un mayor rendimiento en el sistema por absorción de doble efecto^[15].

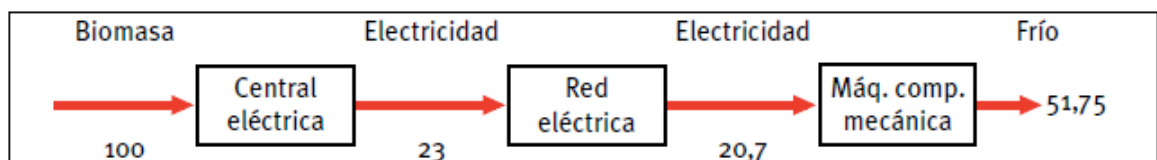


Figura 13: Ciclo de transformación de materia prima en frío por compresión

En el esquema del anterior se muestra el rendimiento final para la producción de frío después de la generación de electricidad por biomasa. En el esquema viene reflejado los pasos desde que se tiene la fuente energética por biomasa hasta que se obtiene el frío y los rendimientos de cada uno de estos pasos. Si se parte de un valor energético de 100% después de transformarse en electricidad obtenemos alrededor de un 23% cumpliendo el ciclo de Rankine. El transporte por la red eléctrica genera unas pérdidas del 10% que se traduce en un 20,7% de valor energético, finalmente después de obtener el frío con un máquina de compresión mecánica (COP 2,5) se obtendrá un rendimiento final del 51,75.

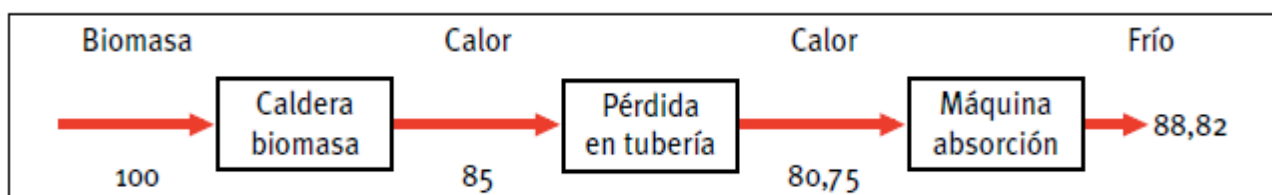


Figura 14: Ciclo de transformación materia prima en frío por absorción

Si este cálculo se hace utilizando una máquina de absorción de doble efecto se puede comprobar que el rendimiento final es mayor. En este esquema se muestra el proceso utilizando una caldera de biomasa (rendimiento 85-90%), transporte por las tuberías (pérdidas 5%) y la transformación a frío en la máquina de absorción efecto doble (COP 1,1) obteniendo como rendimiento final el 88,82 %^[11].

Pese a ser una comparación aproximada, esta muestra que mediante máquinas de absorción es posible llegar a tener un rendimiento elevado respecto a las máquinas de compresión utilizando la misma fuente de energía prima sostenible. Hay que destacar pero que los sistemas de absorción por doble efecto no se utilizan pares agua-amoniaco por lo que el rendimiento disminuirá ya que se tendrán que utilizar máquinas de simple efecto. Con la utilización de máquinas de simple efecto el rendimiento finales de los dos ciclos de transformación se asemeja más.

Otro punto importante en la comparación de los dos sistemas es a la hora de su impacto con el medioambiente. La generación de electricidad si se realiza mediante fuentes de energías fósiles como derivados del petróleo y gas natural representan un alto nivel de contaminante y gases de efecto invernadero como es el CO₂. Sin embargo en las máquinas de absorción, al utilizar fuentes de calor basadas en energías sostenibles como son la solar o biomasa la liberación de gases nocivos es casi nula por lo que representa un gran punto a favor de esta forma de refrigeración. En el caso de que la generación de electricidad para el ciclo de compresión mecánica fuese a través de energías renovables la contaminación del medio

ambiente sería mínima, pero habría que tener en cuenta la gran inversión que esto requiere y las pérdidas energéticas en los sistemas de distribución si los generadores se encuentran alejados del lugar de refrigeración.

Las máquinas de absorción de producción de frío a alta temperatura trabajan a una presión inferior a la atmosférica, esto significa que se debe hacer una inversión en sistemas que permitan trabajar a los componentes y a las uniones en vacío y así puedan trabajar correctamente. En las máquinas de mayor potencia será necesario la implantación de una torre de refrigeración que también aumentarán el coste y necesitarán un espacio adicional para su instalación.

5. Características Sistema de refrigeración actual

5.1. Compresor

Actualmente el ciclo que utiliza la empresa es de compresión mecánica, en el anexo se pueden encontrar imágenes de los componentes que lo forman compresor, evaporadores y condensadores. El compresor es del grupo empresarial Bitzer con sede en Sindelfingen, Alemania que se dedica a la tecnología de la climatización y el frío. En la siguiente tabla se muestran las características del compresor y en el anexo se puede ver una imagen de él mismo en el almacén.

Typ 6G-30.2Y-40P S.Nr.1681202659

Tensión Nominal V 3Ph	Frecuencia Hz	Corriente A (máx.)	Corriente de arranque A(Y)	Corriente de arranque A(YY)	Volumen de desplazamiento m ³ /h	Revoluciones min ⁻¹
380-420	50	53	141	233	126.8	1450

IP 54 ND/HD 19/28 bar

Tabla 10: Características compresor

Se trata de una unidad un compresor semihermetico ECOLINE. El modelo utilizado es el 6G-30.2Y-40P, se trata de un modelo de la serie K que se caracteriza por su diseño robusto y dimensiones compactas, su bajo coste energético, un amplio rango de aplicaciones y potencias, alta capacidad de refrigeración, la aplicación universal con distintos refrigerantes y una presión máxima permitida de 28 bar. En este apartado se hará un resumen de sus características, la empresa Bitzer cuenta con un software de simulación de compresores, el modelo que se utiliza en la empresa se encuentra fuera de catálogo y ha sido sustituido por el modelo 6GE-34Y. Tanto la simulación mediante el software como el análisis del sistema de compresión actual se con este modelo de compresor.

Para calcular la temperatura de evaporación se aplica la siguiente fórmula:

$$DT = T_c - T_o$$

DT: salto térmico que depende de la humedad relativa de la cámara

T_c : temperatura interior de la cámara

T_o : temperatura de evaporación

Por lo tanto para calcular la temperatura de evaporación se necesitan el salto térmico y la temperatura de la cámara. La temperatura de la cámara depende del producto que se quiera conservar, para el caso estudiado la temperatura es de -20°C ya que es la adecuada para la conservación la carne y pescado congelado. El salto térmico se calcula en función de la humedad relativa de la cámara, que viene dada por condiciones de conservación del producto. A partir de la humedad relativa se han tabulado los valores que debe tener el salto térmico en el siguiente gráfico en función de si se desea convección natural o forzada (para este caso se tratará de convección forzada ya que se fuerza el movimiento y la convección con ventiladores). El valor del salto térmico es de $DT = 5,6^{\circ}\text{C}$ y la temperatura de evaporación es de $-25,6^{\circ}\text{C}$ para una humedad del 90%.

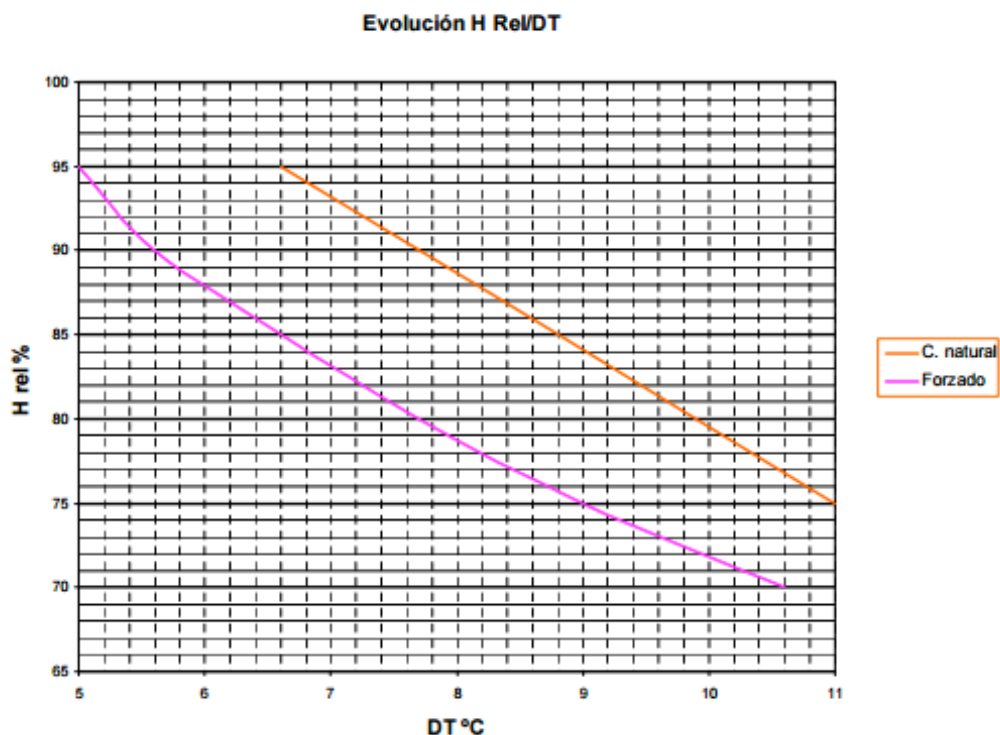


Figura 15: Salto térmico(DT) en función de la humedad relativa

La condensación se fuerza mediante la utilización de otro fluido refrigerante que generalmente es agua o aire (aire en el caso estudiado). Para calcular la temperatura del condensador se debe establecer un salto térmico deseado entre la temperatura del refrigerante y la temperatura del aire encargado de aportar frío al refrigerante para que condense. Normalmente para el aire el salto térmico se establece entre los 10 y los 20°C en el caso práctico el valor tomado es de $\Delta T = 15$. La temperatura de condensación es la suma del salto térmico a la temperatura media de la localización de la instalación, Ghana, de esta manera se obtiene una temperatura de 44°C

Condiciones funcionamiento	Valores
Temperatura interior	-20,00°C
Humedad interior	90%
Temperatura exterior	29,00°C
Temperatura exterior máxima	33.37°C
Humedad exterior	80%
Fluido frigorífico	R404a
Modelo compresor	6GE-34Y
Temperatura de evaporación	-25,60°C
Temperatura de condensación	44,00°C
Frecuencia de la red	50 Hz
Tensión de alimentación	400V

Tabla 11: Condiciones funcionamiento compresor

Parámetros compresor	Valores
Potencia frigorífica	35,1 kW
Potencia en el evaporador	35,1 kW
Potencia absorbida	21,3 kW
Corriente 400V	37,8A
Gama de tensiones	380-20 V
Caudal másico	1010 kg/h
Modo de funcionamiento	Estándar
Temp. gas de descarga no enfriado	114,2°C

Tabla 12: Parámetros del compresor 6GE-34Y

5.2. Evaporador

Actualmente se utilizan dos evaporadores de clase dry-ex o seco, se caracterizan porque a la salida del evaporador el fluido se encuentra en estados gas. En este tipo de evaporadores el fluido entra expansionando a través de una válvulas que controla que a la salida el fluido esté en estado vapor. Como se ha dicho anteriormente el método de convección es forzada, está formado por un haz de tubos recubierto por un envolvente y unos ventiladores que fuerzan la circulación del aire. El desescarche (fundición del hielo formado en los evaporadores) se hace a través de resistencias eléctricas que se activan cuatro veces diarias en paradas de media hora cada una.

Condiciones funcionamiento	Valores
Tipo de evaporador	dry-ex
Fluido frigorífico	R-404a
Potencia frigorífica	17,55 kW
Temperatura de evaporación	-25,6°C
Temperatura entrada de aire	-20°C
Humedad relativa del aire de entrada	90%
Sistema de desescarche	Resistencias eléctricas
TD	5,6

Tabla 13: Condiciones funcionamiento evaporador

Si se aplican estos datos según las características del fabricante Kobol, que se muestran en la siguiente gráfica, se verifica que el modelo del evaporador (ECC-231) del almacén frigorífico es correcto para el salto térmico, capacidad y temperatura de la cámara.

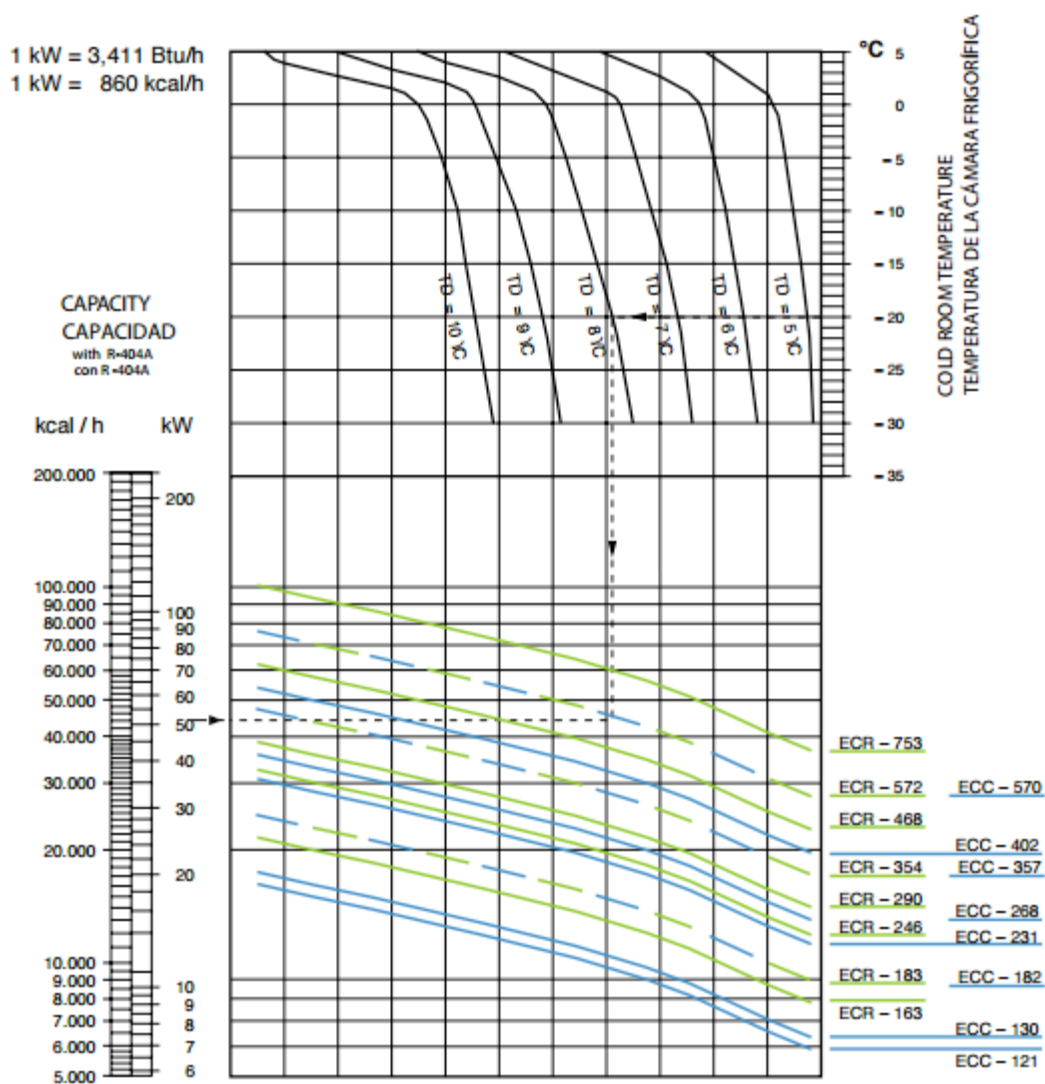


Figura 16: Evaporadores casa Kobol

En la siguiente tabla se resumen las características del evaporador Kobol ECC-231 así como las medidas del mismo.

Modelo	Ventiladores		Consumo energético y de corriente			Dimensiones (mm)					Entrada	Salida	Resistencias	
	Nº	Ø(mm)	W	230V (Δ)	400V	A	B	C	D	E	Ø	Ø	W	A
ECC-231	2	630	1440	4,8	2,8	2840	2440	525	540	950	7/8"	1 3/8"	11 215	17.8

Tabla 14: Características evaporador

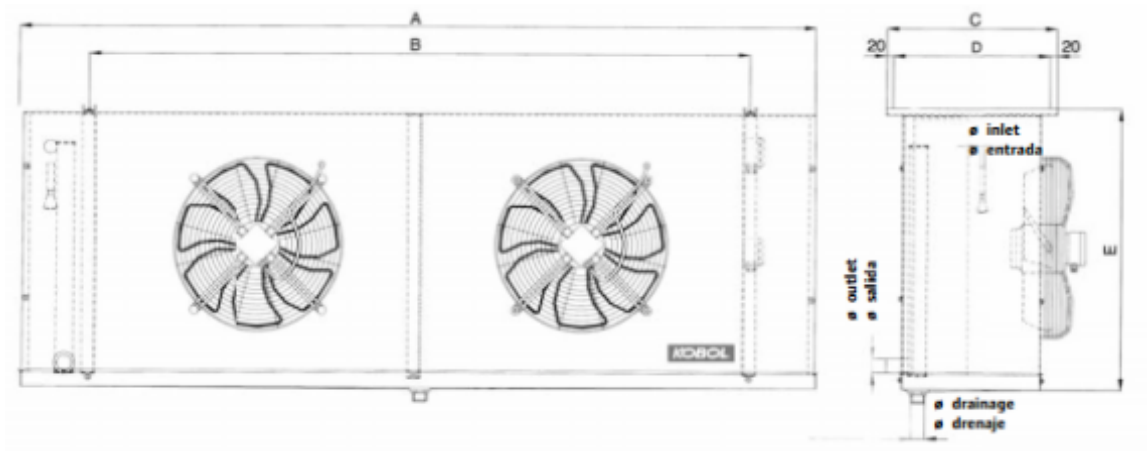


Figura 17: Evaporador ECC-231

5.3. Condensador

El condensador trabaja por refrigeración con aire, esto permite un ahorro en agua, mantenimiento y limpieza comparando el caso de utilizar agua para la refrigeración. En contra destacan la elevada temperatura de condensación y el bajo coeficiente de transmisión que obliga a un mayor tamaño de la máquina.

Condiciones funcionamiento	Valores
Tipo condensador	Por aire
Potencia condensador	56.4 kW
Fluido frigorífico	r-404a
Temperatura de condensación	44°C
Temperatura entrada de aire	29°C
Temperatura entrada aire máxima	33,37°C
Humedad relativa del aire de entrada	85%

Tabla 15: Condiciones funcionamiento condensador

El modelo aplicado es de la marca Güntner GCHC RD 050. 1/13-49-0179991M. Este modelo cuenta con tres ventiladores que le permiten poder seguir trabajando incluso cuando se alcanzan las temperaturas máximas de 33.37°C. A continuación se adjunta la tabla de características técnicas del modelo extraída del software GPC 2015 del fabricante.

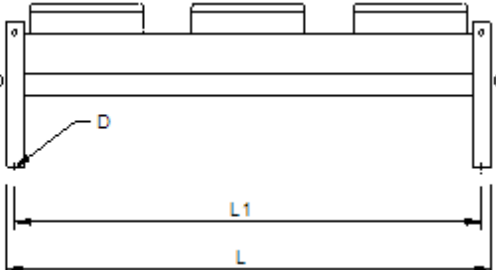
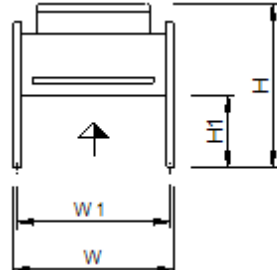
Modelo GCHC RD 050. 1/13-49-0179991M			
Capacidad	56,4 kW	Refrigerante	R404A
Flujo de aire	20.962 m³/h	Temperatura de condensación	45,1°C
Temperatura entrada	33,37°C	Nivel de ruido (10m)	49 dB
Ventiladores: 3 piezas 230 V 50 Hz <ul style="list-style-type: none">• Velocidad 1300 min -1• Capacidad 0,68 kW• Corriente 3.00A			
Total potencia consumida 1.88 kW		Eficiencia energética clase D	
Dimensiones <div><div><div><div>L = 2700 mm</div><div>W = 888 mm</div><div>H = 921 mm</div><div>H1 = 475 mm</div><div>L1 = 2600 mm</div><div>W1 = 848 mm</div><div>D = 13 mm</div></div><div></div></div><div></div></div>			

Tabla 16: Características del condensador

5.4. Refrigerante

El refrigerante usado en el ciclo de compresión mecánica es el R404a, un gas incoloro y comúnmente utilizado en instalaciones de refrigeración a compresión simple, de congelación y otras aplicaciones entre -45°C y 10°C. El refrigerante tiene cero agotamiento de la capa de ozono y es un sustituto directo de los equipos que trabajaban con R-502. Su aplicación se combina con el uso de aceites POE, los aceites tipos mineral no se mezclan con el R404a ya que estos aceites quedarían atascados en las paredes frías del circuito frigorífico, dejando al compresor sin aceite, provocando una avería.

Las principales ventajas de trabajar con R404a son:

- No daña a la capa de ozono
- Pueden rellenarse los equipos en caso de fuga
- Temperaturas de descarga bajas hecho que prolonga la vida del compresor

Y sus inconvenientes son:

- Tiene capacidad frigorífica y eficiencia energética inferior al refrigerante utilizado anteriormente en su lugar (R-502)
- Solo compatible con aceites POE, estos son aceites sintéticos formados por poliolester, estos tipos de aceite son muy estables física y químicamente cosa que no asegura que no reaccionen con el refrigerante.

5.5. Presupuesto de nueva instalación

Una vez que el sistema de compresión mecánica actual llegue al final de su vida útil este deberá ser recambiado. Si se tiene que hacer una nueva inversión se debe estudiar si es más interesante instalar nuevamente sistemas de refrigeración por compresión mecánica, o por otro lado decantarse por máquinas de absorción. El presupuesto aproximado de la instalación total viene recogido a continuación.

Modelo	Precio
Compresor Blitzer, 6GE-34Y	10.491 €
Evaporador Kobol, ECC 231 ⁽¹⁾	2 x 2.772 €
Condensador Güntner, GCHC RD 050.1/12-47 0006105A	2.650 €
Instalación, tuberías y cableado ⁽²⁾	8.300 €
TOTAL	26.985€

Tabla 17: Presupuesto nueva instalación

(1) La gama de evaporadores ECC ya no se fabrica, por lo que la casa KOBOL recomienda su sustitución por el modelo ICP 219 que tiene el precio que aparece en la tabla.

(2) Presupuesto por PI ingeniería.

5.6. Cálculo potencia total consumida

Para el cálculo de potencia total consumida por el compresor de la cámara de congelación se hace una separación del consumo en dos partes: el consumo para uso continuo y el consumo para el arranque. El consumo de arranque puede llegar a ser hasta 3 o 4 veces el consumo de uso continuo en función del motor usado, por lo tanto se debe realizarse un estudio separado.

Los consumos para uso continuo de los diferentes elementos son (aparecen en las fichas de características proporcionadas por los fabricantes adjuntas en el anexo):

Compresor	Evaporador	Condensador	TOTAL
23,6 kW	2,88 kW	1,88 kW	28,36 kW

Tabla 18: consumo elementos instalación

Para el estudio del consumo del motor en el arranque, se debe tener en cuenta las diferencias entre el arranque en estrella y el arranque en triángulo en un sistema trifásico.

- El arranque en estrella: Es un arranque más suave y progresivo con menor consumo, su desventaja consiste en que al usar una corriente baja el par que proporciona el motor también es bajo.
- Arranque en triángulo: al contrario que en estrella este arranque utiliza una tensión de arranque alta realizando un arranque más rápido y brusco. La ventaja consiste en que el par del motor es alto desde el principio, pero al ser un arranque brusco se produce un pico de tensión alto.

Ambos arranques tienen sus ventajas e inconvenientes, con la unión de los dos sistemas en el arranque en estrella-triángulo del compresor se consigue disponer parte de las dos ventajas. Este arranque consiste en empezar con la distribución estrella para así evitar el pico de tensión y cuando el sistema tiene un par motor lo suficientemente elevado se cambia la distribución a triángulo. Se evita el pico de tensión del arranque y el sistema produce un par motor más elevado.

El tiempo de arranque del motor es el que tarda en alcanzar el valor nominal de funcionamiento. En el compresor el tiempo de arranque en estrella es de 15 segundos posteriormente pasa a configuración triángulo hasta su siguiente apagado.

En los sistemas de refrigeración por compresión mecánica el compresor no está siempre encendido sino que actúa de forma intermitente, cuando la temperatura de la sala de refrigeración está fuera de los intervalos deseados se activa el sistema de refrigeración. Por lo tanto cuando la temperatura es superior a la deseada el compresor se enciende hasta que esta temperatura vuelve al rango de conservación. Para el cálculo del ciclo de encendidos y apagados el técnico de cámaras de congelados T. Casanova de Mascaro Morera describe un promedio de dos arranques por hora en una cámara de congelación de estas características. El tiempo de trabajo del sistema de refrigeración es próximo al parada, se establece para este análisis que los intervalos son de 15 minutos de funcionamiento seguidos de 15 minutos de descanso.

A continuación se calcula la potencia consumida en el arranque del compresor Bitzer .

$$P = \sqrt{3} \cdot I_{arr} \cdot V \cdot \cos\varphi$$

P : Potencia (W)

I_{arr} : Intensidad arranque (en estrella $I_{arr}=141$ A y en triángulo $I_{arr} = 233$ A)

V: tensión corriente V= 230V

$\cos \varphi$: factor de potencia $\cos \varphi =1$

Obteniendo un valor de 56,17 kW para el arranque en estrella.

La potencia de arranque de condensador y evaporador se considera como el doble que la potencia nominal. Obteniendo una potencia para el arranque del condensador de 2,5 kW y una potencia de 5,76 kW para el evaporador.

El proceso de desescarche tiene un consumo de 11,215 kW por evaporador, al utilizar dos evaporadores la potencia total será 22,43 kW durante 30 minutos en intervalos de 6 horas realizando cuatro desescarches al día.

En el siguiente gráfico se observa la potencia del sistema de refrigeración de la cámara de congelación durante un periodo de 6 horas. Desde las 0:00 a las 6:00 debido a que el ciclo se repite cíclicamente 4 veces al día. En el anexo se adjunta la tabla con el cálculo detallado y todos los resultados obtenidos.

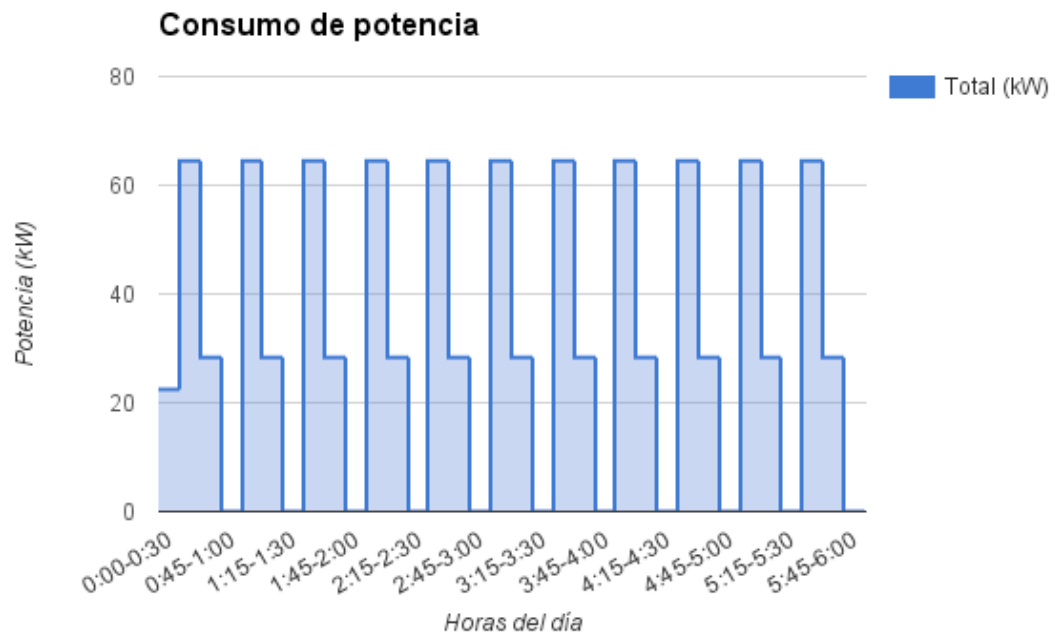


Figura 18: Consumo de potencia en un periodo

El pico de potencia será de 64,43 kW y la energía total diario del sistema es de 363,42 kWh.

6. Fuentes sostenibles a utilizar en Ghana

6.1. Aprovechamiento de fuentes de biomasa

La energía por biomasa es la utilización de materia orgánica como fuente energética. La biomasa abarca un amplio abanico que se caracteriza por su heterogeneidad, según su origen y naturaleza pueden agruparse en agrícolas, forestales, materia orgánica de aguas residuales, biocombustibles, lodos de depuradora y residuos urbanos e industriales.

La biomasa está compuesta principalmente de celulosa, lignina, hemicelulosa y pequeñas cantidades de extractivos. El potencial de la biomasa como materia prima para la producción de biocombustibles depende de diversas características como contenido de humedad, valor calorífico, carbono, volatilidad, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, contenido de cenizas y relación celulosa/lignina.

En la utilización de la biomasa como fuente energética se distingue entre los procesos termoquímicos (combustión, pirólisis y gasificación) y procesos bioquímicos (digestión anaerobia). La combustión de biomasa es un proceso en el que el carbono y el hidrógeno contenidos en el combustible reacciona con el exceso de oxígeno para formar CO_2 y agua y liberar calor. Los procesos de combustión son los más comunes y existen un gran número de tecnologías para aprovechar esta energía. El proceso de pirólisis consiste en la descomposición de biomasa a través de una oxidación incompleta en ausencia de oxígeno para generar compuestos sólidos (carbón vegetal), líquidos y gaseosos aptos como combustibles para las industrias. La gasificación de biomasa ocurre cuando se produce una oxidación parcial de biomasa a través del calor. Se produce un combustible compuesto por una mezcla de gases que tiene un alto contenido energético. La digestión anaerobia es el proceso biológico mediante el cual la materia orgánica (estiércol, purines, residuos agrícolas, lodos, residuos urbanos, residuos industriales etc.) se descompone en biogás por la acción de microorganismos y la ausencia de oxígeno en el digestor.

La biomasa ayuda a gestionar los residuos que se generan tanto de las zonas rurales como de las urbanas. Además disminuye la demanda en energías no renovables, lo que supone una reducción en la emisión de gases de efecto invernadero. La producción de la energía por biomasa en el lugar de consumo permite eliminar gran parte de las pérdidas en los sistemas de transmisión y disminuir la dependencia de las redes nacionales. El aumento de la demanda energética, el encarecimiento de los combustibles fósiles y la disminución de las

reservas hace que cada día aumente más la utilización en energías renovables como es la biomasa.

Uno de los factores más importantes a la hora de considerar la viabilidad de instalaciones para la generación de energía por biomasa es el costo de recolección, transporte y procesamiento del residuo. Se debe estudiar la facilidad de aprovisionamiento de materia prima, el transporte hasta las plantas de procesamiento. Cabe diferenciar dos tipos de plantas, las dispersas que dan la energía a una red central que luego se distribuye por el territorio, y las instalaciones in situ. En el caso del frío industrial las plantas que interesan son las distribuidas que generan la energía necesaria en la misma instalación, así se eliminan las continuas indisponibilidades a las cuales está acostumbrada la industria de Ghana .

La biomasa es el recurso predominante en la República de Ghana, de los 23.8 millones de hectáreas que está compuesto el país 20.8 millones están recubiertos de recursos de biomasa. Los combustibles vegetales más utilizados son carbón vegetal, residuos vegetales y combustible de madera. Alrededor del 90% de los hogares rurales dependen del combustible de madera y otras fuentes de biomasa como principal recurso energético por lo que en Ghana ya hay una tradición en el uso de esta clase de energía^[16].

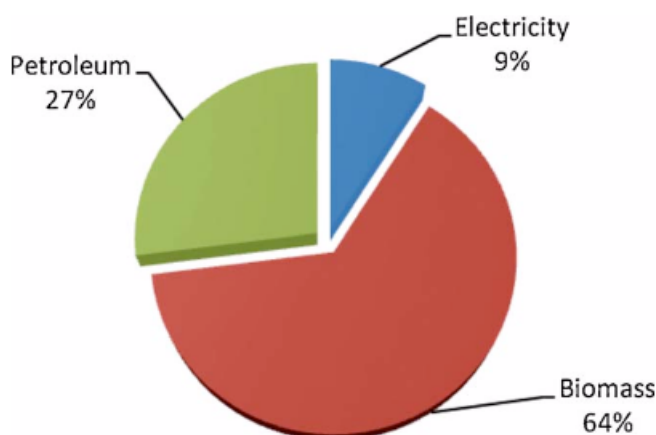


Figura 19: Balance de energía en Ghana en 2007

La agricultura de Ghana se basa en un alto porcentaje de pequeños productores que representan el 90% de los alimentos que necesita el país. Sus productos principales son maíz, arroz, sorgo, yuca, cacahuetes, ñame, plátano, maní, cacao, aceite de palma y café. El 90% de los campos que se cultivan son de pequeña extensión, teniendo menos de 2 ha.

La biomasa de proveniente de los cultivos se puede dividir entre los residuos de cultivos y los subproductos industriales agrícolas. Los primeros son los restos de cultivos que se quedan en las granjas después de la cosecha y están formados por la paja y los cereales de arroz, maíz, sorgo, vainas de cocos. Los subproductos industriales son los residuos que se obtiene después de la transformación de los cultivos y incluyen los racimos de palma de aceite, las cáscaras de arroz, coco, cacao.

Producto	Producción (miles de toneladas)	Área cosechada (ha)
Sorgo	350	340.000
Maíz	1.100	750.000
Caña de azúcar	145	5.700
Arroz	242	120.000
Granos de cacao	700	1.750.000
Café verde	1.6	10.000
Cassava	9.650	800.000
Semilla de algodón	2	25.000
Granos de soja	n.a	n.a
Coco	316	55.500
Palma de aceite	1.900	300.000
Cacahuetes	4.289	460.000

Tabla 19: Principales cultivos Ghana, 2008^[17]

El cacao representa uno de los productos más importantes de la República de Ghana, liderando las exportaciones del país. La mayor parte de sus cultivos tiene lugar en las zonas boscosas de las regiones occidentales como Ashanti, Brong-Ahafo, Centro, Este y Volta extendiéndose alrededor de 1,75 millones de hectáreas. La cáscara, que es el principal residuo en el cultivo de cacao, puede ser utilizada como fuente de energía una vez ha sido comprimida. En la tabla también se puede observar las 300.000ha destinadas al cultivo de palma de aceite, esta planta genera gran cantidad de residuos para su posterior utilizamiento en la conversión de energía. Por otro lado, el maíz es de los cultivos que más residuos desecha y además estos son biomasa celulósica por lo que tienen un gran contenido en materia orgánica y poder energético. En la tabla adjunta se comprueba que a parte de estos tres cultivos mencionados existen muchos otros que también cabe estudiar en su utilización como biomasa.

En Ghana la mayor parte de los residuos agrícolas son quemados como medida de control de plagas o son utilizados como leña, fertilizante, abono o forraje animal. Por eso el combustible que se escoge para la refrigeración de la cámara, aparte de cumplir las especificaciones técnicas, debe estar a disposición y no influir en la cadena de producción de los cultivos locales.

Por otro lado y como se ha dicho anteriormente la mayor parte del país está recubierto de masa vegetal, en 2006 la FAO estimó que el 24,3% de la superficie total estaba cubierta por

masa forestal, lo que también significa una fuente importante para la producción de biomasa. La recuperación de la masa forestal en las explotaciones madereras es del 75% por lo que hay preocupaciones medioambientales en su uso a largo plazo como fuente de energía. Por esta razón los únicos residuos forestales que se tienen en cuenta como combustibles son los desechos del procesamiento de madera tales como troncos desechados, corteza, serrín entre otros. La utilización de estos subproductos no altera el medio ambiente sino que reutiliza los residuos de los aserraderos.

La ciudad de Tema donde se encuentra la empresa Sucatrade se encuentra próxima a Acra, la ciudad más poblada del país, por lo que hay que tener en cuenta la posibilidad de aprovechar también los residuos urbanos que esta genera. Los residuos generados se pueden clasificar en cuatro tipos distintos: residuos sólidos urbanos, lodos de depuradora, residuos de alimentos y grasas, aceites y grasas.

En Accra, los residuos sólidos urbanos q aproximados son de 760.000 toneladas anuales de las cuales 129.200 son orgánicas, por lo que representa una fuente de materia que puede ser convertida en gas. Este proceso se hace mediante la descomposición de la materia por bacterias anaeróbicas para formar gas compuesto de metano y dióxido de carbono. En Ghana el Instituto de Investigación Industrial del Consejo de Investigación Científica e Industrial (CSIR-IIR) ha instalado ya cerca de 240 digestores de entre 6 y 10 m³ para sistemas de biogás como combustibles para los sistemas de refrigeración de escuelas, hospitales, universidades. Otros residuos como las aguas residuales o los residuos alimenticios que son desechados por las industria, hoteles o restaurantes podrían ser utilizados para fabricar biogás mediante descomposición anaeróbica.

Otra fuente de residuos es el estiércol de ganado, en Ghana el ganado es vacuno, ovino, caprino y aves de corral. Una vaca produce aproximadamente 16 toneladas de estiércol al año por lo que representa una cantidad de materia orgánica que merece la pena estudiar para hacer biogás. Los problemas residen en que la mayor parte de este se localiza en las regiones de Alto Este, Alto oeste y Norte, por lo que se encuentra a gran distancia del emplazamiento de la planta frigorífica de Sucatrade, además otro problema reside en que el ganado es de libre itinerancia, por lo que dificulta su recolección para uso energético^[16]. El aspecto negativo de la utilización de biodigestores reside en la necesidad de un control exhaustivo de las reacciones que se llevan a cabo en su interior, el descontrol de algunos parámetros como la temperatura, el pH, los ácidos grasos volátiles supondría echar a perder la producción del gas.

Sucatrade se encarga de la importación y el transporte por lo que no genera residuos que se pueda utilizar posteriormente en el aprovechamiento de biomasa para generar refrigeración. Es necesario importar materia prima de otras empresas que se dediquen a la distribución de biomasa para su utilización a nivel industrial

6.2. Aprovechamiento de fuentes de energía solar

El aprovechamiento de la energía solar consiste en el proceso de transformación o utilización de la radiación electromagnética del sol por medio de sistemas captadores como células fotovoltaicas, helióstatos o captadores solares. Estos sistemas en función de como capturan, convierten y distribuyen la energía se pueden clasificar en dos tipos:

- Los sistemas pasivos son los que aprovechan directamente la radiación solar sin transformarla, un ejemplo es la arquitectura ecológica que estudia la orientación de los edificios para mejorar su ventilación y climatización
- Los sistemas activos son aquellos que captan la radiación solar y la convierten en energía como los paneles fotovoltaicos.

En el caso estudiado se considerarán los sistemas activos ya que interesa la alimentación del compresor mecánico a partir de energía eléctrica. Para ello hará un estudio de los captadores solares más eficientes y de las condiciones de contorno que afectan al sistema. Es importante tanto la meteorología como los valores de radiación solar incidente para el funcionamiento óptimo de la solución.

El captador solar más utilizado en África Subsahariana es el panel fotovoltaico. Este está formado por un conjunto células fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la luz que incide en ellas por medio de un proceso llamado el efecto fotoeléctrico, que consiste en emisión de electrones al incidir sobre él una radiación electromagnética, en este caso solar.

Los paneles fotovoltaicos se dividen en diferentes grupos en función del tipo de célula que los forman. Son cristalinos cuando las partículas que lo forman (generalmente silicio) están cristalizadas, son amorfas cuando estas partículas no están cristalizadas. La efectividad de estos sistemas depende del tamaño de los cristales que lo forman, cuanto mayores son los cristales mayor es el rendimiento. Pero al igual que la eficiencia aumenta con el tamaño también lo hacen el peso, el grosor y el coste, de modo que se debe establecer un tamaño óptimo para que el sistema sea lo suficientemente eficiente y su coste no sea demasiado elevado.

Otro aspecto fundamental en el aprovechamiento de la energía solar es la radiación solar incidente en la ubicación de los paneles fotovoltaicos del proyecto. En función de los valores de la radiación se dimensionaran los paneles instalados. La radiación solar se clasifica en función de su incidencia sobre la superficie terrestre:

- Radiación directa: es la radiación que llega a la superficie terrestre sin recibir ningún cambio en su trayectoria lineal desde el círculo solar. Esta radiación se divide entre sus componentes normal y horizontal en los casos de planos inclinados
- Radiación difusa: es la radiación que proviene de la difusión y de las múltiples reflexiones que sufre en la atmósfera.

Tanto la radiación directa como la difusa son aprovechables, aunque la radiación directa proporciona más energía que la difusa. Sin embargo bajo un umbral de radiación el sistema no genera la suficiente energía. Es por esta razón que se tendrán que tener en cuenta el momento en los que radiación solar es baja, como cuando sale o se pone el sol o en días elevadamente nublados, ya que no podrán suministrar la energía de manera directa.

La radiación que llega a Ghana varía según las coordenadas del punto donde se mida. El estudio de SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment) muestra las radiaciones obtenidas en distintas ciudades de Ghana.

Estación	Radiación (kWh/m ² diario)
Kumasi	4,63
Accra	5,04
Navrongo	5,50
Abetifi	5,15
Akuse	4,81
Wa	5,52
Akim Oda	4,56
Wenchi	5,02
Ho	5,12
Kete Krachi	5,28
Takoradi	5,01
Yendi	5,37
Bole	5,32

Tabla 20: Radiación solar incidente en la superficie terrestre y incidente en satélite^[18]

El número de horas de luz solar diarias que proporcionan energía solar útil según el estudio es de 6 horas por día. Durante las primeras horas y las últimas horas del día el ángulo de la luz del sol es demasiado bajo.

Entre los principales problemas que surgen al estudiar la instalación de paneles fotovoltaicos está la inversión inicial elevada debido al alto coste de los elementos que la forman. Sin embargo las instalaciones fotovoltaicas tienen un ciclo de vida elevado que puede alcanzar los 20 años. Su mantenimiento es simple ya que no dispone de elementos móviles, su principal mantenimiento es la limpieza de las placas fotovoltaicas y el control del correcto

funcionamiento del resto de maquinaria.

Otro inconveniente de las placas fotovoltaicas es la amplia superficie que requieren. En Sucatrade al tratarse de salas de refrigeración con temperaturas alrededor a los -20°C el gradiente térmico con en el exterior es muy elevado. Por ello será necesaria una amplia superficie para instalar las suficientes placas para generar la energía requerida por el sistema, al igual que un gran espacio de almacenaje para todos los elementos complementarios que las instalaciones solares requieren.

7. Calculo final del coste de la instalación

En este apartado se estudiará la viabilidad de utilizar las fuentes renovables de biomasa y solar para suministrar la potencia frigorífica necesaria en la cámara de congelación de Sucatrade.

7.1. Energía por biomasa

La utilización de biomasa está asociada a la generación térmica ya que la eficiencia de conversión directa es del 85% mientras que su aprovechamiento eléctrico se limita a una eficiencia de conversión directa del 35%^[19].

De entre todas las energías renovables que se emplean para conseguir electricidad la biomasa es una de las que menos se utilizan, su bajo poder calorífico, humedad o volatilidad hace que las instalaciones de aprovechamiento de biomasa para la generación de electricidad sean complejas. Son necesarias calderas de gran tamaño para poder aprovechar dicha fuente, que hace que el rendimiento sea bajo y que la inversión y el volumen de dichas máquinas sean más elevados que las utilizadas por combustibles convencionales.

Por esa razón en este caso y como se ha comentado en el apartado de teoría se estudia la implantación de una máquina de absorción que utilice el calor generado por la fuente de calor de biomasa para generar el frío industrial.

7.1.1. Combustible fuente térmica

Como se ha comentado en el apartado 6.1 existen múltiples posibilidades de utilización de materia prima en Ghana, su elección vendrá condicionada por su precio, valor calorífico neto y proximidades a Tema.

Una de las plantaciones que más está creciendo actualmente son las de aceite de palma, esto se debe al aumento de su utilización en productos alimenticios como helados, platos preparados como pizzas, sopas, pasta, como aceite para freír hasta cosméticos y productos de limpieza. Las plantaciones proporcionan los residuos para obtener tanto cáscaras almendra de palma (en mezcla con la fibra de la fruta) como pellets, para utilizar como combustible en las calderas.

La palma de aceite es una planta tropical perteneciente a la familia Arecaceae. Se cultiva ampliamente en Malasia, Indonesia, así como en África oriental y central, incluyendo Ghana. Comienza a fructificar después de un período vegetativo de cinco años, y su período de

productividad es de 25 a 30 años. Una palma es capaz de producir de 8 a 12 racimos de fruta cada año. Los racimos de frutas pesan de 10 a 25 kg y consisten en de 1 a 3 mil frutos, del tamaño de una ciruela grande. El rendimiento de una hectárea de plantación de palma aceitera africana es 10 Mg de fruta anualmente y se calcula que por cada tonelada de aceite, se puede obtener una tonelada de residuos de la planta^{[21][22]}.

Las cáscaras de almendra de palma (PKS) se obtiene de las fracciones de la cáscara que quedan después de que fruto haya sido removido y triturado en el molino de aceite de palma. Las cáscaras del grano son un material fibroso y se pueden manejar fácilmente a granel directamente desde la línea de productos hasta el uso final^[23]. El PKS se caracterizan por un contenido relativamente bajo de humedad y cenizas que afecta a sus valores caloríficos netos más altos en comparación con otros tipos de biomasa vegetal.

El valor calorífico neto depende de sus componentes combustibles, sustancias minerales (ceniza) y contenido de humedad.

Biomasa	Humedad total(AR) (%)	Valor calorífico neto (Ar)(kcal/kg)	Contenido en ceniza (DB)
Cáscara de Palma	7.7-25.1	3130,97-4469,40	1.3-10.8

AR=Como se recibe; DB= Base seca

Tabla 21: Características de cascara de almendra de palma

El contenido de humedad en la biomasa depende de varios factores, tales como el tipo de planta, el período de vegetación y las condiciones atmosféricas bajo las cuales una planta es cosechada, transportada y almacenada. El valor calorífico neto del combustible de biomasa disminuye con un contenido de humedad creciente. El porcentaje de cenizas, es otro parámetro que influye en la disminución del poder calorífico neto de los combustibles y del proceso de combustión. El contenido de cenizas de PKS está dentro de un rango de 1,3% a 10,8% en masa seca, este bajo valor se debe al bajo contenido en el PKS de azufre, cloro, compuestos de potasio y calcio y al elevado porcentaje de compuestos de silicio. Los valores de los porcentajes de lignina, celulosa y hemicelulosa son de 50%, 7% y 26% respectivamente^[24].

PCC organic oils Ghana Ltd es una empresa alemana instalada en Ghana que dispone de instalaciones en Oda, en las proximidades de Accra y Tema, donde se trabaja con aceite, torta y cáscara de almendra de palma. La empresa trabaja con alrededor de 400 proveedores de racimos de palma y fruto de palma en las regiones Eastern, Western, Brong Ahafo y Central de Ghana. Dispone de un departamento PCC PKS que comercia y distribuye las cáscaras de palma (Palm Kernel Shell). Esta empresa se caracteriza por tener la opción de hacer pedidos de pequeño tamaño que permitirán poder almacenarlo en el recinto del que dispone Sucatrade en Tema. El pedido mínimo es de 20 toneladas y el coste

del PKS transportado hasta Tema es de US \$ 95 por tonelada. Los datos que facilita la empresa sobre sus características físicoquímicas son:

Parámetros	Análisis industrial (%)
Humedad Total: 15 - 20%	Carbono (C) 52,95
Contenido de cenizas: <3 - 5%	Hidrógeno (H) 6,29
Impurezas totales: <3%	Nitrógeno (N) 0,52
Azufre total : <1%	Oxígeno (O) 38,51
Valor calórico neto: 4000-4200 kcal / kg	Azufre (S) 0,07

Tabla 22: Características cascara de almendra de palma PCC PKS

7.1.2. Máquina de absorción

Para la elección de una máquina de absorción en los almacenes de Sucatrade se ha tenido en cuenta principalmente la potencia térmica necesaria y la temperatura de congelación. La implantación de dicha máquina viene condicionada por la baja potencia requerida que únicamente viene contemplada en la empresa AGO AG Energie + Anlagen. Esta empresa dispone de máquinas de entre 50 W hasta 1000 W y que alcanzan temperaturas de -28°C.

En el mercado de máquinas de absorción no existen máquinas compactas sino que cada diseño va adaptado al caso de estudio. AGO AG Energie + Anlagen pese a ser el fabricante que trabaja con capacidades más bajas, la capacidad frigorífica de una cámara de Sucatrade no alcanza ese valor. Por lo tanto el estudio de viabilidad económica que se hace en este caso es de la utilización de una máquina de absorción Ago congelador para refrigerar dos cámaras de congelación de dos almacenes distintos de Sucatrade. Cada cámara necesita de una capacidad frigorífica de 35,1 kW haciendo que la capacidad total de la máquina sea de 70,2 kW.

Según Ago AG Energie + Anlagen para este rango de capacidades el coste de la instalación es mucho más elevado que para máquinas de capacidades más altas. Una instalación de estas características tiene un coste de alrededor de 3500 € por kW de capacidad frigorífica mientras que para enfriadores de capacidades de 1000 kW el coste decrece hasta 700€ por kW.

El coste de la máquina de absorción de AGO Congelo es de 245.700 €. Pese que en los módulos de la empresa vienen incluidos la torre de refrigeración habrá que sumarle a este precio el coste de una caldera de biomasa para la producción de agua caliente y el de los evaporadores de cada cámara.

La máquina de AGO congelo tiene una relación de frío/calor de alrededor del 0,5 por lo que la potencia de la fuente de calor es el doble que la potencia frigorífica. Para dos cámaras de congelación, la potencia necesaria de la caldera de biomasa es de 140,8 kW. El modelo de caldera Dual-CMT/F de Uniconfort alcanza potencias desde los 93 a los 5800 kW para la producción de agua caliente a partir de biomasa con hasta el 20% de humedad. El coste estimado de la caldera según Robustenergy S.L. es de 60.000€.

El PKS de PCC de organic oils Ghana Ltd tiene un valor calórico de entre 4000-4200 kcal/kg. Para el cálculo de cantidad de biomasa necesaria se toma el valor medio de 4100 kcal/kg que se corresponde a 4,76 kWh/kg. La caldera tiene una eficiencia de alrededor del 91% por lo que para alcanzar la potencia frigorífica de la cámara la caldera consume 3.713,4 kWh diarios. La cantidad de PKS necesario para suministrarlo será de 779,63 kg diarios. Mensualmente el valor asciende a 23.389,0 kg, a un precio de US \$ 95 por tonelada el coste mensual es de US \$ 2.221,96, que al cambio a euros son 2.083 €/mensuales.

En las cámara se necesitan dos evaporadores que tengan una potencia frigorífica de 35,1 kW cada uno y que trabajen con amoníaco como fluido refrigerante. El modelo de INTERCAL EIC NH-6-564/205-AA tiene una capacidad de 30.720 kcal/h para temperaturas de cámara de -20°C. Su precio en el mercado es de 6.232,88 €/unidad, por lo que el coste de los evaporadores de las dos cámaras asciende a 12.465,76 €.

La potencia total de las resistencias de desescarche de este modelo de evaporador es de 23,52kW. Su funcionamiento es de 4 periodos de media hora cada uno durante el día, ascendiendo a un consumo de 1.411,2 kWh mensuales. Si este suministro se hace a través de la red eléctrica nacional, el precio mensual según la tarifa de 2016 del apartado 2 es de 883,08 € mensual. Para el total de los dos evaporadores la potencia será de 47.04 kW y el gasto mensual de 1.766,16€ mensuales.

La opción 1 de suministro hace que el sistema de refrigeración sea dependiente de la red eléctrica y que por lo tanto pueda sufrir cortes. Para que la instalación sea independiente existe la opción 2 de implantar generadores eléctricos. El modelo de ARMSTRONG 30kW A37KBS suministra la energía necesaria para cada cámara y tiene una potencia extra por si surge la necesidad de aplicar más dispositivos. El precio de cada generador es de 10.767,36 € y su consumo al 75% de la potencia es de 5,88 L/h de diesel. Los desescarche se hacen durante dos horas diarias y el precio del diesel según GlobalPetrolPrices es de

0,83 € litros por lo que el coste mensual de las dos cámaras es de 585,64 € mensuales.

Modelo	Precio (€)
AGO Congelo	245.700
Dual-CMT/F de Uniconfort	60.000
INTERCAL EIC NH-6-564/205-AA	12.465,76
ARMSTRONG 30kW A37KBS	21.534,72
TOTAL	

Total opción 1=318.165,76€

Total opción 2=339.700,48€

Fuente	Precio (€/mes)
PKS	2.083,00
Opción 1 red eléctrica	1.766,16
Opción 2 generador	585,64

Total opción 1= 3.849,16€/mes

Total opción 2=2.668,64€/mes

7.2. Energía solar fotovoltaica

En el diseño de una instalación solar fotovoltaica el primer paso consiste en conocer los elementos de los que esta consta, así como su utilidad y su funcionamiento. Los componentes de la instalación son: placas fotovoltaicas, baterías, inversor cargador, inversor ondulador y variador.

7.2.1. Placas fotovoltaicas

El módulo fotovoltaico es el elemento principal de la instalación, como se ha explicado anteriormente se encarga de convertir la energía solar en energía eléctrica (corriente continua). Para hacer el dimensionamiento de la instalación fotovoltaica se calcula que cantidad de placas fotovoltaicas necesarias para generar la electricidad consumida por el sistema de refrigeración diariamente.

Para este cálculo se ha utilizado el software CM SAF The Satellite Application Facility on Climate Monitoring, donde introduciendo una serie de datos se obtiene la potencia total que deben generar las placas en función de los siguientes factores:

- Ubicación de la planta solar: el software consulta en su base de datos PVGIS-CMSAF la radiación solar media mensual en función de las coordenadas. Para el diseño de la instalación fotovoltaica se introducen las coordenadas del almacén de Sucatrade 5°39'0" Norte, 0°0'16" Este, Elevación: 15 m.



Figura 20: Ubicación almacenes Sucatrade

- Tipo de placa fotovoltaica: como se explica en el apartado 8.2 hay diferentes tipos de placas en función del material del que están hechas, en este caso se estudia un modelo estándar de módulos multicristalinos de silicio del fabricante Munchen por sus características y relación calidad precio.
- Consumo mensual de la instalación: consumo en kWh mensuales total:

$$363.42\text{kWh/día} \times 30 \text{ días/mes} = 10\,902.6 \text{ kWh/mes}$$

Se necesitan unas placas que puedan suministrar esta cantidad de vatios hora durante todos los meses del año, para asegurar que se llega al valor requerido se diseñan unas placas que pueden alcanzar hasta un 5 % más, alcanzando los 11447,73 kWh/mes.

- Eficiencia de las placas fotovoltaicas: varían en función de la composición del material y el tamaño de los granos, viene dado en la ficha de características.
- Pérdidas de la instalación:

Temperatura y baja irradiación: 12.8% (Temperatura ambiente local)

Efectos angulares reflectantes: 2.6%

Otras pérdidas (cables, inversor etc.): 14.0%

Con estos datos el programa indica que la potencia de pico (potencia que generan las placas en momento de máxima producción) que debe tener la instalación fotovoltaica para cubrir la demanda debe ser 110 kWp. Con el software CM SAF se obtienen las potencias mensuales que generan las placas con dicho valor de potencia pico. En la siguiente tabla se recogen los valores de kWh y radiación de cada mes en Tema, se observa que en ningún mes la potencia promedio de las placas es inferior a 11447,73 kWh/mes.

Orientación sistema: inclinación 7 °, orientación -1°

Mes	E_d	E_m	H_d	H_m
Enero	505.00	15 600	6.32	196
Febrero	497.00	13 900	6.26	175
Marzo	532.00	16 500	6.73	209
Abril	484.00	14 500	6.13	184
Mayo	439.00	13 600	5.47	170

Junio	387.00	11 600	4.78	143
Julio	417.00	12 900	5.17	160
Agosto	441.00	13 700	5.47	169
Septiembre	481.00	14 400	5.96	179
Octubre	514.00	15 900	6.42	199
Noviembre	503.00	15 100	6.29	189
Diciembre	497.00	15 400	6.21	192
Promedio anual	475	14 400	5.93	180
Total anual	173 000		2160	

Tabla 23: Resultados obtenidos con el software CM SAF

E_d : Promedio diario de producción eléctrica suministrado por el sistema (kWh)

E_m : Promedio mensual de producción eléctrica suministrado por el sistema (kWh)

H_d : Promedio diario de irradiación global solar recibido por los módulos (kWh/m²)

H_m : Promedio mensual de irradiación global solar recibido por los módulos (kWh/m²)

Una vez determinada la potencia de pico el siguiente paso consiste en seleccionar el modelo de placa de München de la instalación. Para alcanzar la potencia de pico se selecciona el modelo de placa fotovoltaica 250-260 multicristaline cuya potencia pico se establece en 250 W y superficie de 1.64 x 0.99 m².

Teniendo en cuenta la potencia de pico y la potencia de las placas se obtiene que son necesarias 440 placas solares para generar la energía necesaria. El precio de cada placa es de 244 € por lo que el coste total será de 107 360€.

La ubicación de las placas será en el tejado del almacén que cuenta con 1761.68 m², espacio suficiente para su instalación. La sujeción es a partir de unas estructura coplanares para tejado de Alba Solar, compuesta de 20 módulos de 1,65 x 1 m². Teniendo en cuenta que se instalan 440 placas son necesarias 22 estructuras de 579 € cada una, sumando un total de 12 738 €.

7.2.2. Inversor cargador

El inversor cargador protege a los acumuladores ante las sobrecargas, para ello proporciona una tensión continua para la instalación a su salida fijando el valor de la tensión nominal a la que trabaja la instalación.

El modelo seleccionado es el Sunny Island H.8 de forma que al tener una potencia de entrada máximo de 11,5 kW serán necesarios 10 inversores para hacer frente a los 110 kWp que proporcionan las placas fotovoltaicas.

El precio de este modelo es de 4.367 € de manera que el coste total es 43.670€.

7.2.3. Baterías

Las baterías son las encargadas mantener el suministro de energía durante todas la horas del día, incluyendo en los momentos de baja radiación. Las baterías usadas en la instalación son de litio debido a que estas tienen la capacidad de aguantar picos de tensión a diferencia de otros modelos como por ejemplo las baterías de plomo. El modelo de baterías es B-Box LiFePO4 12,8 kW de BYD Build Your Dreams, cuya ficha técnica se encuentra en el anexo.

El dimensionamiento del número de baterías viene definido por la capacidad de las baterías.

$$C = \frac{A_{uton} \cdot Cons}{Rend \cdot Desc \cdot V_{bat}}$$

- C: capacidad baterías (Ah)
- A_{uton} : 3 días de autonomía
- $Cons$: consumo diario de la instalación: 363,42 kWh diarios
- V_{bat} : Voltage del modelo de batería 51,2 voltios
- $Rend$: rendimiento de la batería según la ficha de características de las placas. Para el modelo seleccionado el rendimiento es del 97%.
- $Desc$: descarga de la batería. Para el modelo seleccionador la descarga es del 80%.

Así se obtiene que la potencia total del banco de baterías debe ser de 27.440,09 Ah. Dividiendo este valor entre los amperio-hora que suministra cada batería (200 Ah) se obtiene que son necesarias 137 baterías . El precio de este modelo de baterías es de 6.980 € por lo que el total asciende a 956.960 €.

7.2.4. Inversor ondulador

El inversor ondulador convierte la corriente continua de las baterías en corriente alterna trifásica. Para las características de la instalación de refrigeración es necesario un inversor que pueda trabajar con la potencia total del sistema de 28,36 kW.

Para seleccionar el inversor se tendrá en cuenta el consumo del motor que debe alimentar, así teniendo en cuenta un 5% de margen de error se buscará un inversor ondulador de 30 kW de potencia máxima.

Debida a la alta potencia de las placas fotovoltaicas se debe utilizar más de un inversor, concretamente el número de inversores a introducir se obtiene mediante la potencia generada por los módulos fotovoltaicos y la potencia máxima de inversor. Obteniendo un valor de 4 inversores.

El modelo seleccionado es el Sunny tripower 30000 TL-US con un precio de 5.107 € de manera que el precio final de los inversores será de 20.428€.

7.2.5. Otros

Debido al pico de consumo en el arranque se introducirá en el sistema un variador. Este actúa como un arrancador suave que permite a las baterías y al inversor poder suministrar la potencia necesaria para los picos de arranque del motor del compresor. El variador pues ha de cumplir las especificaciones específicas de potencia e intensidad para conducir de forma controlada la tensión hasta la marcha nominal aplicando una rampa de tensión, donde se puede controlar el tiempo de rampa y la tensión inicial en bornas del motor.

El modelo seleccionado para la instalación es el ATS22D75Q de Schneider Electric que alcanza los 728,21 €.

8. Comparación económica

Para el cálculo del periodo de retorno se hace una comparación entre los costes del sistema actual de gasto eléctrico (más la renovación del sistema de refrigeración por compresión mecánica), la implantación de una máquina de absorción y su gasto en materia prima como combustible y la implantación de una instalación de energía solar fotovoltaica.

8.1. Coste de la instalación actual

Cálculo del gasto mensual actual en electricidad (según precio kWh 2016^[26]). Este coste representa el consumo del compresor mecánico, evaporador y compresor de la cámara de congelación a -20°C. No se tiene en cuenta el resto de las cámaras, gasto en iluminación y demás, por lo que no se sumará a este gasto la tarifa fija mensual ya que aunque se aplicase una fuente de energía independiente esa parte de la tarifa eléctrica no se vería afectada.

TARIFA DISTRIBUCIÓN Y TRANSMISIÓN x CONSUMO + TARIFA CONSUMIDOR x CONSUMO

- TARIFA DISTRIBUCIÓN Y TRANSMISIÓN = 0.26781 €/kWh
- TARIFA CONSUMIDOR: No-Residencial (601+)=0.35801 €/kWh
- CONSUMO=363.42 kWh/día x 30 días/mes=11 447.73 kWh/mes

Factura mensual=7.164,21 €/mes

Ha esta factura hay que sumarle la necesidad de cambiar toda la instalación en un futuro, en el apartado 5.5 se ha calculado el precio del total de la instalación que es de 26.985 €

8.2. Coste de la instalación de máquina de absorción

En este apartado hay que sumar al coste de la máquina de absorción, el precio de todos sus accesorios más el precio de la materia prima que será necesaria para alimentar la caldera de la máquina.

	Instalación (€)	Fuente (€/mes)
Opción 1	318.165,76	3.849,16
Opción 2	339.700,48	2.668,64

Tabla 24: Coste instalación máquina de absorción

Si se compara el la opción 1 que utiliza la electricidad de la red para el desescarche de los evaporadores con el coste de compresión actual teniendo en cuenta que será necesario hacer una inversión para renovar la instalación de compresión mecánica se obtiene que el periodo de retorno del presupuesto de una instalación de absorción para dos cámaras es de 2 años y dos meses.

En el caso de la opción dos, donde se instala dos generadores el periodo de recuperación es de dos años y tres meses. Esta opción tiene la ventaja de que es independiente de los cortes de la red eléctrica nacional.

8.3. Coste de instalación energía solar fotovoltaica

En la siguiente tabla se recoge el presupuesto de la instalación total de energía solar.

Elemento	Precio(€)	Cantidad	Total(€)
Placa fotovoltaica	244	440	107.360
Inversor cargador	4.364	10	43.640
Batería	6.980	137	956.260
Inversor ondulador	5.107	4	2.428
Variador	728,21	1	728,21
Sistema fijación	579	22	12.738
TOTAL			1.123.154,21

Tabla 25: Presupuesto instalación fotovoltaica

El calculo del periodo de amortización se realizará comparando el presupuesto de la instalación fotovoltaica frente al presupuesto de la renovación del sistema de compresión mecánica, obteniendo los meses que tardara la empresa en recuperar el capital invertido. El valor de la inversión para el sistema fotovoltaico se obtiene sumando el presupuesto de la instalación solar al presupuesto del recambio del sistema de compresión mecánica.

	Instalación (€)	Fuente (€/mes)
Sistema actual	26.985	7.164,21
Fotovoltaica	1.153.139,21	0

Tabla 26: Comparación de costes

El periodo de amortización de esta solución es de 13 años.

9. Conclusiones

El resultado de la comparación económica de las instalaciones solar y de biomasa nos muestra que la opción con más viabilidad es la del aprovechamiento de valor calórico del PKS. Dentro de las dos opciones estudiadas para la máquina de absorción la que tiene el menor periodo de amortización es la que consume corriente de la red eléctrica. Aunque esta sea la opción más económica el hecho de que dependa del suministro eléctrico condiciona la elección final.

Por lo tanto la mejor opción para los almacenes en Tema es la aplicación de una máquina de absorción junto a generadores que nos proporcionen la energía eléctrica necesaria. El periodo de amortización para esta solución es de dos años y tres meses asegurando la independencia de la red y evitando los cortes eléctricos que perjudican a los productos conservados.

10. Agradecimientos

En primer lugar una de las figuras imprescindibles para el proyecto ha sido el técnico de la empresa Mascaro Morera Toni Casasnovas, quien nos enseñó el funcionamiento de la planta refrigeración de su empresa, nos organizó una visita y ha resuelto una gran serie de dudas que han surgido a lo largo de la elaboración del proyecto.

En segundo lugar el técnico en instalaciones fotovoltaicas Juan Montagut ha ayudado a dimensionar la instalación solar fotovoltaica, aportando sus conocimientos sobre el campo.

También agradecer a todos los técnicos y personal de las empresas contactadas por su paciencia y dedicación a la hora de resolver dudas y facilitar la información necesaria sobre los elementos de las instalaciones.

Por último, agradecer cordialmente a todas las personas que nos han apoyado durante este proyecto. Gracias a familiares, amigos y Pillaran por estar a nuestro lado en los momentos difíciles, cuando la información parecía esconderse e íbamos a ciegas.

11. Bibliografía

- [1] OFICINA DE INFORMACION DIPLOMATICA DEL MINISTERIO DE ASUNTOS EXTERIORES Y DE COOPERACION, *Ghana ficha país*, Octubre 2016.
- [2] INTERNATIONAL TRADE CENTER (ITC), TRADEMAP, *List of exporters for all products and all countries*, recuperado de: http://www.trademap.org/tradestat/Country_SelProduct_TS.aspx
- [3.1] DATOSMACRO.COM, *Ghana importaciones de mercancías*, recuperado de: <http://www.datosmacro.com/comercio/importaciones/ghana>
- [3.2] DATOSMACRO.COM, *PIB de Ghana*, recuperado de: <http://www.datosmacro.com/pib/ghana>
- [4] JRC SCIENTIFIC AND POLICY REPORTS, N. PARDO, L. VATOPOULUS, A. KROOK, RIEKKOLA, J.A. MOYA, A. PEREZ, *Heat and cooling demands and market perspective*, Luxemburgo.
- [5] EUROPEAN COMMISSION, *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on an EU Strategy for Heating and Cooling*, Bruselas 2016.
- [6] CIA WORLD FACTBOOK, *Tasa del crecimiento de la producción industrial de Ghana*, Enero 2015, recuperado de: <http://www.indexmundi.com/g/g.aspx?c=gh&v=78&l=es>
- [7] ENERGY COMISION OF GHANA, *Energy Supply and Demand Outlook for Ghana*, Abril 2016.
- [8] ENERGY COMISION OF GHANA, *National Energy Statistics (2005 to 2014)*, Abril 2015.
- [9] CASA AFRICA, *Energías renovables en África Occidental estado, experiencias y tendencias*, 2012.
- [10] ELECTRICITYCOMPANY OF GHANA LTD, *Public utilities regulatory commission (PURC) publication of electricity tariffs*, 2016.
- [11] SOLARGIS, *Global Horizontal Irradiation*, 2015, recuperado de: <http://solargis.com/products/maps-and-gis-data/free/download/ghana>
- [12] FAO PRODUCCION Y SANIDAD, *Manual buenas prácticas para la industria de la carne*, Roma 2007.
- [13] MANUEL SOMINGUEZ, CARMEN GARCIA, JOSE M^a ARIAS, *Recomendaciones para la conservación y transporte de alimentos perecederos*, Julio 2009.
- [14] ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS UNIVERSIDAD DE SEVILLA, *Análisis de los sistemas de refrigeración solar por adsorción*, Sevilla julio 2011, recuperado de: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4986/fichero/Cap%C3%ADulo3+Sistema+de+adsorci%C3%B3n.pdf>
- [15] MINISTERIO DE INTERIOR TURISMO Y COMERCIO, INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACION Y AHORRO DE ENERGIA (IDAE), *Biomasa-climatización*, Madrid mayo 2008.
- [16] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, *Manures and Agro-Industrial By-products for Fish-Farming in Ghana*, Rome 1990, recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/field/003/ac111e/AC111E04.htm>

- [17] MOSES HENSLEY DUKU, SAI GU, ESSEL BEN HAGAN, *Comprehensive review of biomass resources and biofuels potential in Ghana*, January 2011.
- [18] MAXIMILLIAN KWARTENG, GRAMAX ENERGY GROUP, *Ghana's solar potential: Only 2% of land can provide 924GWh of power annually*, Julio 2015, recuperado de:
<http://www.myjoyonline.com/opinion/2015/July-1st/ghanas-solar-potential-only-2-of-land-can-provide-924gwh-of-power-annually.php>
- [19] EMILIO CERDA, UNIVERSIDAD COMPUTENSE DE MADRID, *Energía obtenida a partir de biomasa*.
- [20] COGEN EUROPE, *What is cogeneration?* , 2017, recuperado de:
http://www.cogeneurope.eu/what-is-cogeneration_19.html
- [21] BARBARA, JAGUSTYN, IGA PATYNA, AGNIESZKA SKAWINSKA, INSTITUTE FOR CHEMICAL PROCESSING OF COAL, *Evaluation of physicochemical properties of Palm Kernel Shell as agro biomass used in the energy industry*, Zabrze, Polonia.
- [22] WOLTER ELBERSEN, *Residuos de aceite de palma disponibles para la bioeconomía, junto con el reciclaje de nutrientes*.
- [23] EC OKOROIGWE, CM SAFFRON, *Determination of Bio-energy Potential of Palm Kernel Shell by Physicochemical Characterization*, Nigeria 2012.

12. Anexo



Piso superior a la cámara frigorífica



Disposición de los productos dentro de la cámara de congelación



Evaporadores dentro de la cámara de congelación



Compresor 6GE-34Y de Bitzer

Desescarche
Uso normal
Descanso
Arranque

	Compresor (kW)	Comp. arranque estrella (kW)	Comp. arranque triangulo (kW)	Condensador (kW)	Cond. Arranque (kW)	Evaporador (kW)	Evap. Arranque (kW)	Descarche (kW)	Total (kW)	Tiempo (h)	Energía (kWh)
0:00-0:30								22,43	22,43	0,5	11,215
0:30:00-0:30:15		56,17			2,5		5,76		64,43	0,004	0,268
0:30:15-0:45	23,6			1,88		2,88			28,36	0,245	6,971
0:45-1:00									0	0,250	0
1:00:00-1:00:15		56,17			2,5		5,76		64,43	0,004	0,268
1:00:15-1:15	23,6			1,88		2,88			28,36	0,245	6,971
1:15-1:30									0	0,250	0
1:30:00-1:30:15		56,17			2,5		5,76		64,43	0,004	0,268
1:30:15-1:45	23,6			1,88		2,88			28,36	0,245	6,971
1:45-2:00									0	0,205	0
2:00:00-2:00:15		56,17			2,5		5,76		64,43	0,004	0,268
2:00:15-2:15	23,6			2		2,88			28,36	0,245	6,971
2:15-2:30									0	0,250	0
2:30:00-2:30:15		56,17			2,5		5,76		64,43	0,004	0,268
2:30:15-2:45	23,6			1,88		2,88			28,36	0,245	6,971
2:45-3:00									0	0,250	0
3:00:00-3:00:15		56,17			2,5		5,76		64,43	0,004	0,268
3:00:15-3:15	23,6			1,88		2,88			28,36	0,245	6,971
3:15-3:30									0	0,250	0
3:30:00-3:30:15		56,17			2,5		5,76		64,43	0,004	0,268
3:30:15-3:45	23,6			1,88		2,88			28,36	0,245	6,971
3:45-4:00									0	0,25	0
4:00:00-4:00:15		56,17			2,5		5,76		64,43	0,004	0,268
4:00:15-4:15	23,6			1,88		2,88			28,36	0,24583	6,978
4:15-4:30									0	0,250	0
4:30:00-4:30:15		56,17			2,5		5,76		64,43	0,004	0,268
4:30:15-4:45	23,6			1,88		2,88			28,36	0,245	6,9718
4:45-5:00									0	0,250	0
5:00:00-5:00:15		56,17			2,5		5,76		64,43	0,004	0,268
5:00:15-5:15	23,6			1,88		2,88			28,36	0,245	6,971
5:15-5:30									0	0,250	0
5:30:00-5:30:15		56,17			2,5		5,76		64,43	0,0041	0,268
5:30:15-5:45	23,6			1,88		2,88			28,36	0,245	6,971
5:45-6:00									0	0,250	0

Tabla consumo instalación



Compressor Selection: Semi-hermetic Reciprocating Compressors

Input Values

Compressor model	6GE-34Y	Suct. gas superheat	10,00 K
Mode	Refrigeration and Air conditioning	Operating mode	Auto
Refrigerant	R404A	Power supply	400V-3-50Hz
Reference temperature	Dew point temp.	Capacity Control	100%
Liq. subc. (in condenser)	0 K	Useful superheat	100%

Result

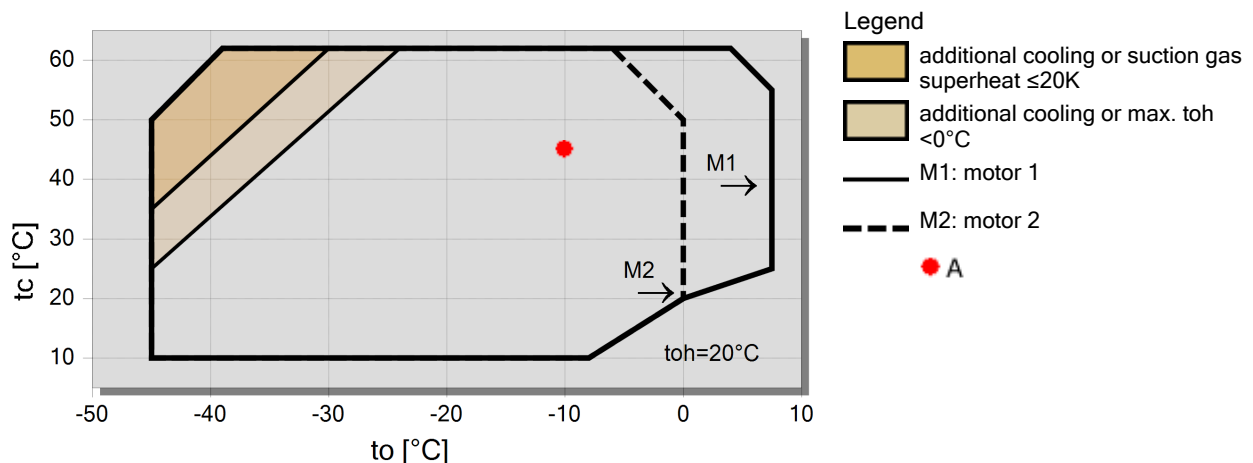
Q [W]	Cooling capacity	COP [-]	COP/EER
Qu* [W]	Evaporator capacity	m [kg/h]	Mass flow
P [kW]	Power input	Op.	Operating mode
I [A]	Current	th [°C]	Discharge gas temp. w/o cooling
Qc [W]	Condenser Capacity		

tc	to	0°C	-5°C	-10°C	-15°C	-20°C	-25°C	-30°C	-35°C
30°C	Q [W]	119836	98726	80678	65315	52301	41339	32166	24545
	Qu* [W]	119836	98726	80678	65315	52301	41339	32166	24545
	P [kW]	27,7	26,5	25,0	23,3	21,4	19,33	17,21	15,07
	I [A]	47,4	45,6	43,3	40,7	37,9	34,9	31,8	29,0
	Qc [W]	147512	125224	105695	88603	73673	60665	49372	39617
	COP [-]	4,33	3,73	3,23	2,80	2,45	2,14	1,87	1,63
	m [kg/h]	3271	2754	2302	1908	1566	1270	1015	796
	Op.	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
	th [°C]	53,3	54,5	56,0	57,6	59,6	61,9	64,8	68,4
40°C	Q [W]	101547	83175	67508	54219	43007	33602	25766	19289
	Qu* [W]	101547	83175	67508	54219	43007	33602	25766	19289
	P [kW]	32,6	30,7	28,5	26,1	23,6	21,1	18,46	15,91
	I [A]	55,0	52,0	48,7	45,0	41,2	37,4	33,6	30,1
	Qc [W]	134169	113860	96012	80351	66636	54656	44228	35201
	COP [-]	3,11	2,71	2,37	2,07	1,82	1,60	1,40	1,21
	m [kg/h]	3158	2652	2209	1823	1488	1197	947	732
	Op.	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
	th [°C]	64,7	66,1	67,7	69,6	71,8	74,4	77,7	82,0
50°C	Q [W]	82684	67163	53982	42845	33499	25720	19311	14092
	Qu* [W]	82684	67163	53982	42845	33499	25720	19311	14092
	P [kW]	37,2	34,5	31,6	28,6	25,5	22,4	19,33	16,35
	I [A]	62,3	58,0	53,5	48,8	44,1	39,4	34,9	30,7
	Qc [W]	119920	101695	85621	71460	59015	48121	38639	30446
	COP [-]	2,22	1,94	1,71	1,50	1,31	1,15	1,00	0,86
	m [kg/h]	3027	2531	2098	1720	1391	1107	863	655
	Op.	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
	th [°C]	76,6	78,2	80,1	82,2	84,7	87,8	91,7	96,8

-- No calculation possible (see message in single point selection)

*According to EN12900 (20°C suction gas temp., 0K liquid subcooling)

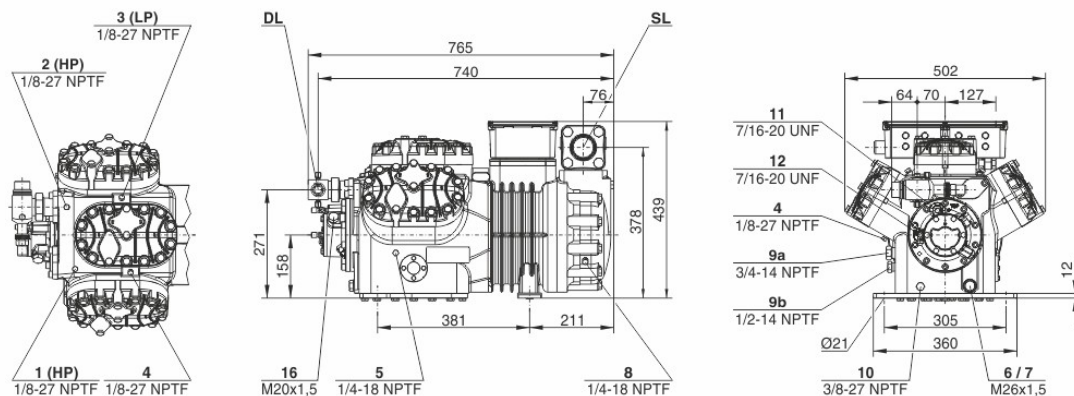
Application Limits 100%





Technical Data: 6GE-34Y

Dimensions and Connections



Technical Data

Technical Data

Displacement (1450 RPM 50Hz)	126,8 m³/h
Displacement (1750 RPM 60Hz)	153,0 m³/h
No. of cylinder x bore x stroke	6 x 75 mm x 55 mm
Weight	228 kg
Max. pressure (LP/HP)	19 / 32 bar
Connection suction line	54 mm - 2 1/8"
Connection discharge line	35 mm - 1 3/8"
Oil type R134a/R407C/R404A/R507A/R407A/R407F	BSE32(Standard) / R134a tc>70°C: BSE55 (Option)
Oil type R22 (R12/R502)	B5.2(Option)

Motor data

Motor version	2
Motor voltage (more on request)	380-420V PW-3-50Hz
Max operating current	65.5 A
Winding ratio	50/50
Starting current (Rotor locked)	141.0 A Y / 233.0 A YY
Max. Power input	40,0 kW

Extent of delivery (Standard)

Motor protection	SE-B2, CM-RC-01(Option)
Enclosure class	IP54 (Standard), IP66 (Option)
Vibration dampers	Standard
Oil charge	4,75 dm³

Available Options

Discharge gas temperature sensor	Option
Start unloading	Option
Capacity control	100-66-33% (Option)
Capacity Control - infinite	100-10% (Option)
Additional fan	Option
CIC System	Option
Oil service valve	Option
Crankcase heater	140 W (Option)
Oil pressure monitoring	MP54 (Option), Delta-PII

Sound measurement

Sound power level (-10°C / 45°C)	83,3 dB(A) @50Hz
Sound power level (-35°C / 40°C)	89,5 dB(A) @50Hz
Sound pressure level @ 1m (-10°C / 45°C)	75,3 dB(A) @50Hz
Sound pressure level @ 1m (-35°C / 40°C)	81,5 dB(A) @50Hz
Sound power level (-10°C / 45°C) R134a	81,3 dB(A) @50Hz
Sound pressure level @ 1m (-10°C / 45°C) R134a	73,3 dB(A) @50Hz



Semi-hermetic Reciprocating Compressors

Motor 1 = e.g. 4TES-12 (4TCS-12.2) with 12"HP", primary for air-conditioning (e.g. R22,R407C) and air-conditioning with R134a at high ambient temperatures

Motor 2 = e.g. 4TES-9 (4TCS-8.2) with 8"HP", universal Motor for medium and low temperature application (e.g. R404A, R507A, R407A, R407F) and air-conditioning with R134a.

Motor 3 = e.g. 4TES-8, for medium temperature applications and R134a

For more information concerning the application range use the "Limits" button.

Operation modes 4VES-7 (4VCS-6.2) to 6FE-44 (6F-40.2) and 44JE-30 (44J-26.2) to 66FE-88 (66F-80.2) with R407F/R407A/R22:

CIC = liquid injection with low temperature application, suction gas cooled motor

ASERCOM certified performance data:

The Association of European Refrigeration Component Manufacturers has implemented a procedure of certifying performance data. The high standard of these certifications is assured by:

-- plausibility tests of the data performed by experts

-- regular measurements at independent institutes

These high efforts result in the fact that only a limited number of compressors can be submitted. Due to this not all BITZER compressors are certified until now.

Performance data of compressors which fulfil the strict requirements may carry the label "ASERCOM certified". In this software you will find the label at the respective compressors on the right side below the field "result" or in the print out of the performance data. All certified compressors and further information are listed on the homepage of ASERCOM (www.ASERCOM.org).

Condensing capacity:

The condensing capacity can be calculated with or without heat rejection. This option can be set in the menu PROGRAM/OPTIONS. The heat rejection is constantly 5% of the power consumption. The condensing capacity is to be found in the line Condensing cap. (with HR) resp. Condensing capacity.

Data for sound emission:

Data based on 50 HZ application (IP-units 60Hz) and R404A if not declared.

Sound pressure level: values based on free field area conditions with hemispherical sound emission in 1 meter distance.

General remarks regarding sound data:

Listed sound data were measured under testing conditions in our laboratory. For this purpose the free-standing test sample is mounted on a solid foundation plate and the pipework is connected vibration-free to the largest extend possible. Suction and discharge lines are fixed in a flexible configuration, such that a transmission of vibrations to the environment can be largely excluded. In real installations considerable differences might be observed, compared to the measurements in the laboratory. The airborne sound emitted by the compressor can be reflected from surfaces of the system and this may increase the airborne sound level measured close to the compressor. Vibrations caused by the compressor are also transferred to the system by the compressor feet and piping depending on the damping ratio of the fixings. Thus, the vibrations can induce other components to such an extent that these components contribute to an increase in airborne sound emission. If required, the transfer of vibrations to the system can be minimized by suitable fixing and damping elements.

Legend of connection positions according to "Dimensions":

1 High pressure connection (HP)

2 Connection for discharge gas temperature sensor (HP) (for 4VE(S)-6Y .. 4NE(S)-20(Y) connection for CIC sensor as alternative)

3 Low pressure connection (LP)

4 CIC system: injection nozzle (LP)

4b Connection for CIC sensor

4c Connection for CIC sensor (MP / operation with liquid subcooler)

5 Oil fill plug

6 Oil drain

7 Oil filter (magnetic screw)

8 Oil return (oil separator)

8* Oil return with NH3 and insoluble oil

9 Connection for oil and gas equalization (parallel operation)

9a Connection for gas equalization (parallel operation)

9b Connection for oil equalization (parallel operation)

10 Oil heater connection

11 Oil pressure connection +

12 Oil pressure connection -

13 Cooling water connection



- 14 Intermediate pressure connection (MP)
- 15 Liquid injection (operation without liquid subcooler and with thermostatic expansion valve)
- 16 Connection for oil monitoring (opto-electrical oil monitoring "OLC-K1" or differential oil pressure switch "Delta-PII")
- 17 Refrigerant inlet at liquid subcooler
- 18 Refrigerant outlet at liquid subcooler
- 19 Clamp space
- 20 Terminal plate
- 21 Maintenance connection for oil valve
- 22 Pressure relief valve to the atmosphere (discharge side)
- 23 Pressure relief valve to the atmosphere (suction side)

SL Suction gas line

DL Discharge gas line

Dimensions can show tolerances according to EN ISO 13920-B.

BYD PRODUCTOS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA (B-BOX)



B-Box 12.8



Introducción

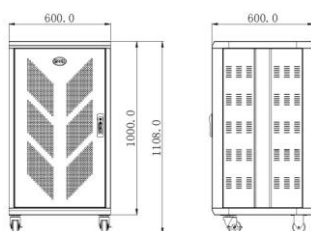
Battery Box utiliza las baterías Fe de BYD de alta fiabilidad. Pueden ser usadas en sistemas de almacenamiento. Su sistema modular permite una gran flexibilidad al poder utilizar de 1 a 4 módulos.

En B-Box 12.8 se puede aumentar la capacidad de almacenamiento mediante la conexión en paralelo de varios armarios.

Características

- Capacidad flexible
- Admite conexiones en paralelo
- Admite comunicaciones RS485 o CAN
- Diseño modular
- Fácil instalación

Dimensiones



Aplicación

- Instalaciones residenciales con placas solares para autoconsumo
- Instalaciones comerciales e industriales para neutralización de picos
- Industria de Telecomunicaciones para sistema de respaldo
- Micro-redes

BYD PRODUCTOS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA



B-Box 12.8



B-Plus 12.8

La batería standard BYD 3U—U3A1-50E-A está homologada por CE y TUV, ha sido ampliamente utilizada en aplicaciones de Telecomunicaciones y almacenamiento de energía. BYD fabrica la batería con la tecnología LiFePO4 y con una capacidad anual de 10GWh.

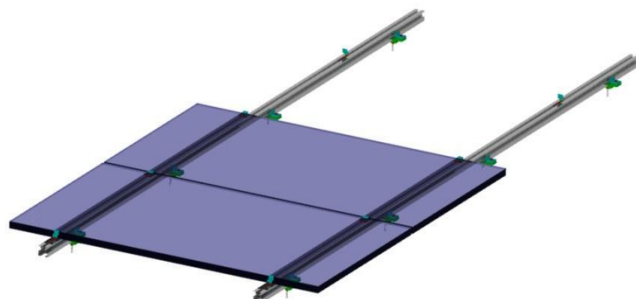
Características de la batería

- Curva de descarga estable
- Excelente seguridad
- Larga vida útil
- Buen comportamiento en altas temperaturas
- Alta densidad de energía
- Capacidad alta de carga y descarga
- Alta eficiencia de transferencia de energía
- No contamina

B-Box 12.8 parametros

Tipo de batería	Batería B-plus 12.8 de LiFePO4
Módulo de la batería	B-plus 12.8(C12 51.2V 200Ah)
Energía nominal de la batería	12.8Kwh (0.2C carga y descarga a +25°C)
Energía utilizable	12.8Kwh
Potencia de salida	Max 12.8Kw
Voltaje nominal	51.2V
Módulo de batería	B-plus 12.8
Eficiencia de energía	>97%
BMS con Ecuilización	SI
Voltaje de trabajo	44.8V-57.6V
Comunicación	RS485/CAN
Dimensiones	Ancho 600* profundidad 600* mm alto 1108 (con ruedas)
Peso neto	180kg
Ciclos de vida	6000[100%DOD,+20°C,80% Capacidad restante]
Temperatura de funcionamiento	0°C~+55°C
Temperatura de almacenamiento	-20°C~55°C
Transporte	UN3480 & UN38.3
Duración de almacenamiento	12 meses@+25°C; 6 meses@+35°C; 3 meses@+45°C
Conforme con norma de EMC	EN 61000 capítulo 4.2,4.3,4.5,4.6/EN55022
Conforme con normas de seguridad	UL1642 para celdas; UL1973 para módulos de batería;
Nivel IP	IP20
Nota	· Cargue la batería cada medio año en caso de inactividad o almacenamiento.
Escalabilidad	SI, hasta 51.2Kwh

ESTRUCTURA para TEJADO INCLINADO de CHAPA



Estructura de fácil instalación para tejado inclinado de chapa, mediante perfiles paralelos al plano de tejado.

Válida para módulo desde 35 a 50 mm de grosor.

Material de la estructura.

Aluminio EN AW-6005A-T6.

La estructura está construida en **aluminio Aleación EN AW-6005A-T6 (Aleación estructural)**, cumpliendo así todas las normativas requeridas por dicho documento para la Unión Europea (**Normativa Código técnico de la edificación y Eurocódigo 9**). La tornillería de la estructura es de **Acero Inoxidable AISI 304 (A2-70)**.

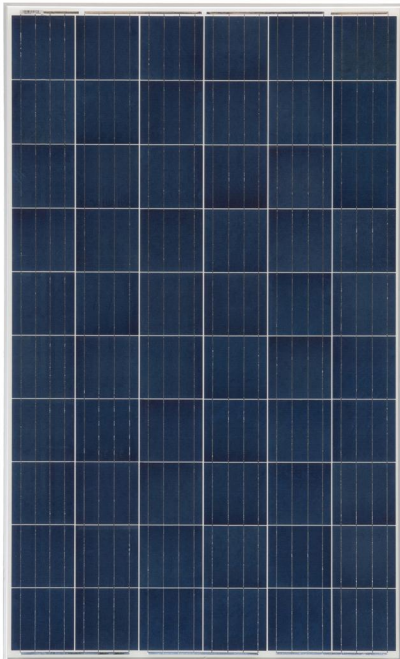
Sistema de fijación de módulos FV.

Mediante grapas intermedias y finales, de manera que cada pieza omega sujetará como máximo a dos módulos FV en las zonas homologadas por el fabricante de módulos FV. La tornillería es desmontable y con sistema autoblocante mecánico y con arandela de presión.

Garantía

10 años.

- Con la estructura, se adjuntan instrucciones de montaje.
- No incluye tornillo de fijación a la cubierta
- Fabricada en España



Ü Series

Multicrystalline MSPxxxAS-30

ABOUT MUNCHEN SOLAR

MÜNCHEN SOLAR is one of the most innovative, reliable, quality and value focussed companies in the entire sector thanks to its focus on solar modules and technology ranging from roof systems to full-scale power plants. With markets in Germany, Japan, China, Australia and the Americas, München Solar is truly a global provider in the field of solar power.

Whether you're picking solar modules for your residential / commercial roof system or power plant, you know you can rely on the München Solar brand. Customers who choose München Solar know we will deliver maximum performance with the highest quality product at the best value.

PERFORMANCE

Tight positive power tolerance of -0%/W to +3%/W ensures you receive modules at or above nameplate power and contributes to minimizing module mismatch losses leading to improved system yield.

Multicrystalline silicon solar cells with low-iron tempered high transmission and textured glass deliver a module efficiency of up to 15.4%, maximizing the kWh output of your system per unit area.

QUALITY & RELIABILITY

- Rigorous quality controls meet the highest international standards: ISO 9001: 2008, ISO 14001: 2004 and ISO 17025: 2005
- Tested for harsh environments (salt mist and ammonia corrosion testing: IEC 61701, DIN 50916:1985 T2)
- Modules independently tested to ensure conformance with certification and regulatory standards.

WARRANTIES

12 year limited product warranty

25 year limited power output warranty

Please refer to our Warranty Terms and Conditions



Ü Serie

Multikristallin MSPxxxAS-30

ELECTRICAL PERFORMANCE

Electrical parameters at Standard Test Conditions (STC)

Module Type	MSPxxxAS-30 (xxx=P _{max})							
Power output	P _{max}		240	245	250	255	260	265
Power output tolerances	ΔP _{max}	%	0 / +3					
Module efficiency	η _m	%	14.75	15.06	15.37	15.67	15.98	16.29
Voltage at P _{max}	V _{mpp}	V	30.72	30.85	31.02	31.18	31.35	31.48
Current at P _{max}	I _{mpp}	A	7.81	7.94	8.06	8.18	8.29	8.42
Open circuit voltage	V _{oc}	V	36.60	36.91	36.99	37.07	37.22	37.38
Short circuit current	I _{sc}	A	8.36	8.50	8.62	8.75	8.87	8.98

STC: 1000W/m² irradiance, 25°C cell temperature, AM1.5g spectrum according to EN 60904-3.

Average relative efficiency reduction of 5% at 200W/m² according to EN 60904-1.

THERMAL CHARACTERISTICS

Nominal operating cell temperature	NOCT	°C	47 +/-2
Temperature coefficient of P _{max}	γ	% / °C	-0.45
Temperature coefficient of V _{oc}	β _{Voc}	% / °C	-0.33
Temperature coefficient of I _{sc}	α _{Isc}	% / °C	+0.04
Temperature coefficient of V _{mpp}	β _{Vmpp}	% / °C	-0.35

NOCT: open-circuit module operation temperature at 800W/m² irradiance, 20°C ambient temperature, 1m/s wind speed.

OPERATING CONDITIONS

Max. System Voltage	1000VDC
Max. series fuse rating	15A
Limiting reverse current	15A
Operating temperature range	-40°C to 85°C
Max. static load, front (e.g., snow and wind)	5400Pa
Max. static load, back (e.g., wind)	2400Pa
Max. hailstone impact (diameter / velocity)	25mm / 23m/s

MECHANICAL CHARACTERISTICS

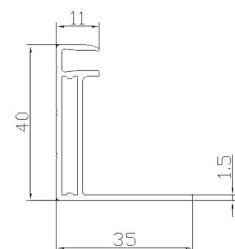
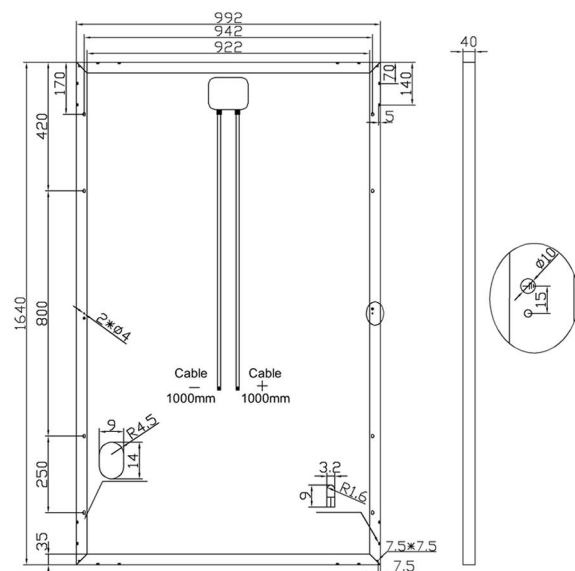
Front Cover (material / thickness)	low-iron tempered glass / 3.2mm
Cell (quantity / material / dimensions)	60 / multicrystalline silicon / 6" x 6"
Encapsulant (material)	EVA
Frame material	anodized aluminum alloy
Junction box (protection degree)	≥ IP65 with bypass-diode
Cable (length / cross sectional area)	1000mm / 4mm ²
Plug connector (type / protection degree)	MC4 / IP67
Fire Safety Classification (IEC 61730)	Class C

Specifications are subject to change without notice.

GENERAL CHARACTERISTIC

Dimensions	1640mm / 992mm / 40mm
Weight	18.6kg

Unit: mm



Frame Section

PARTNERS

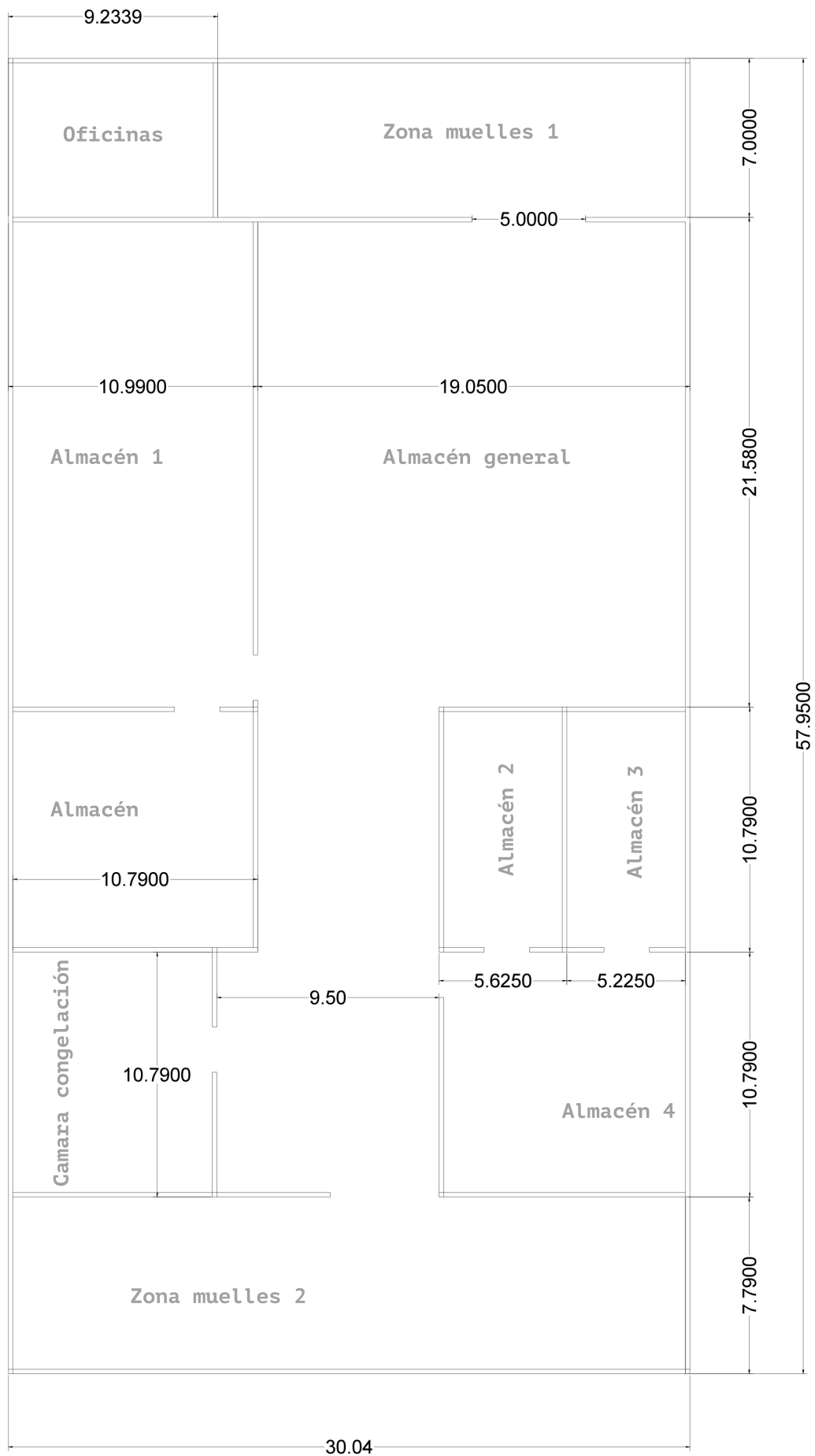
MünchenSolar
MAXIMALENERGIE

© München Solarenergie GmbH | www.munchensolar.de

Adresse: Gmunder Str. 53, 81379 München, Deutschland

Telefon: +49 (0) 894 371 298 6

E-Mail: sales@munchensolar.de



SI6.0H-10 / SI8.0H-10



Sencillo

- OptiUse: rápida instalación y puesta en servicio, manejo simplificado
- OptiBat: siempre al día con la visualización del estado de carga de batería

Resistente

- IP54: protección óptima frente al polvo y humedad
- OptiCool: mayor rango de temperatura
- OptiPower: funcionamiento más seguro en cualquier situación

Flexibilidad

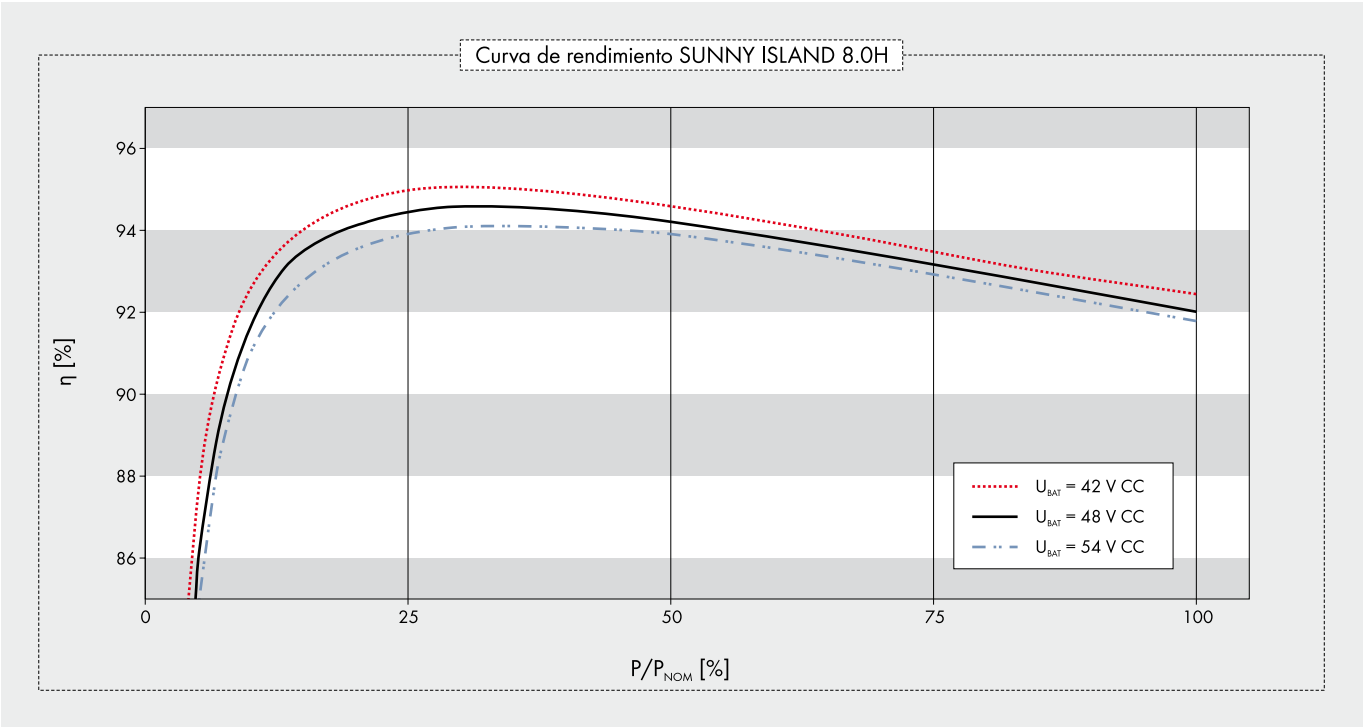
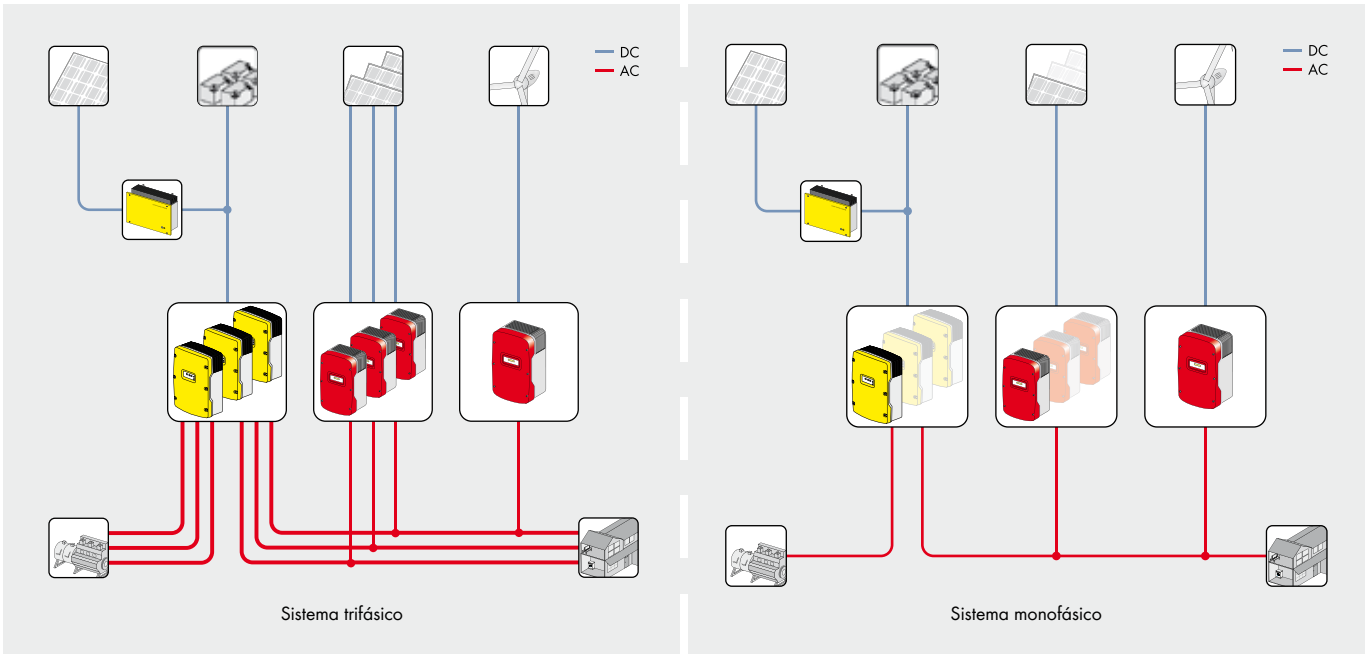
- Para sistemas de 3 a 300 kW
- Diseño preciso
- Compatible con la tecnología Multiclúster

SUNNY ISLAND 6.0H / 8.0H

Sencillo. Resistente. Flexible.

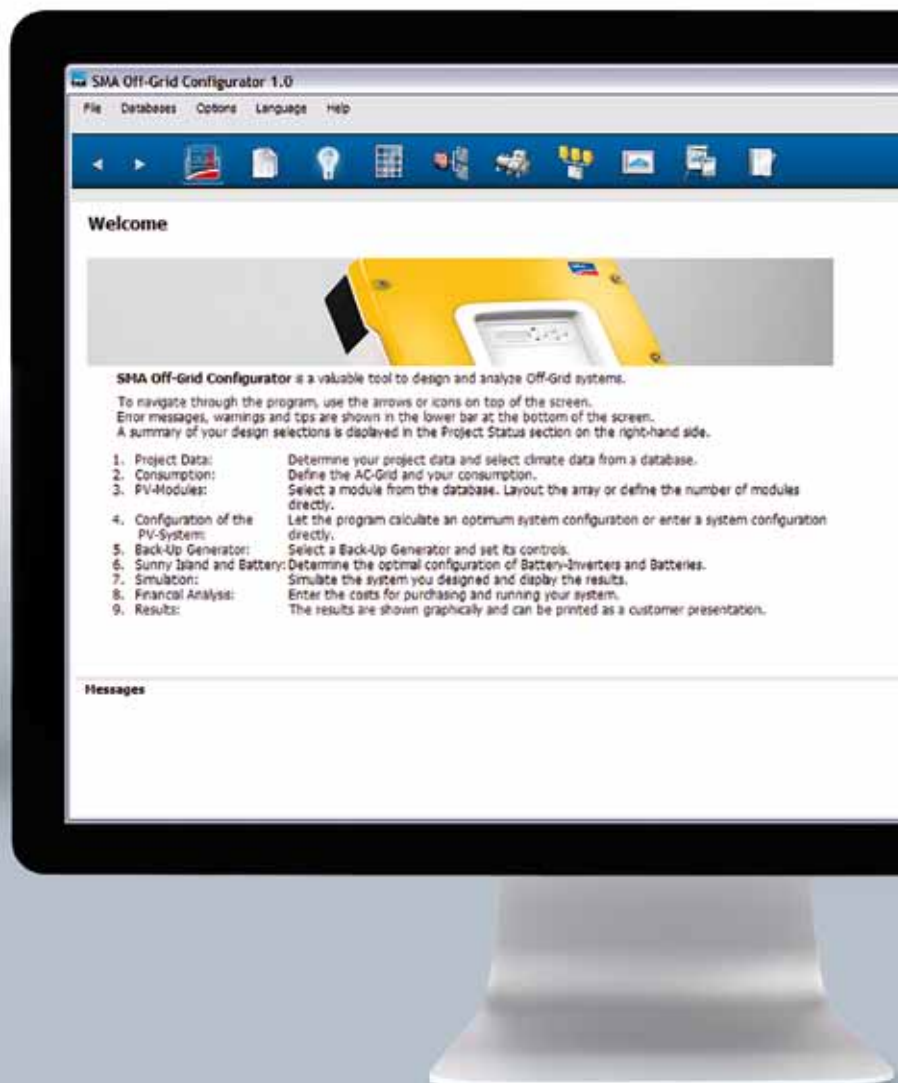
Más resistente que su predecesor: el nuevo Sunny Island convence por su elevada clase de protección y su amplio rango de temperatura. Gracias a OptiCool, no tendrá que asumir ninguna merma en cuanto a la capacidad de sobrecarga y rentabilidad. Y aún hay más: la inteligente gestión de la energía y de la carga OptiPower garantiza el funcionamiento también en situaciones difíciles. OptiUse hace que la instalación, la puesta en servicio y el uso diario sean como nunca antes: con detección de campo giratorio, guía de configuración rápida y manejo intuitivo. Además, la gestión avanzada de baterías OptiBat regula automáticamente las operaciones de carga y descarga y alarga así la vida útil de los sensibles dispositivos de almacenamiento de energía. El Sunny Island es un auténtico "paquete todo incluido" para lograr un suministro energético fiable y autosuficiente.

SUNNY ISLAND 6.0H / 8.0H



SMA OFF-GRID CONFIGURATOR

Programa de diseño y simulación para sistemas aislados



SUNNY TRIPOWER 12000TL-US / 15000TL-US / 20000TL-US / 24000TL-US / 30000TL-US



STP 12000TL-US-10 / STP 15000TL-US-10 / STP 20000TL-US-10 / STP 24000TL-US-10 / STP 30000TL-US-10



RATED FOR
1000 V DC & 600 V DC
SYSTEMS



Design flexibility

- 1000 V DC or 600 V DC
- Two independent DC inputs
- 15° to 90° mounting angle range
- Detachable DC Connection Unit

System efficiency

- 98.0% CEC, 98.6% Peak
- 1000 V DC increases system efficiency
- OptiTrac Global Peak MPPT

Enhanced safety

- Integrated DC AFCI
- Floating system with all-pole sensitive ground fault protection
- Reverse polarity indicator in combination with Connection Unit

Future-proof

- Complete grid management feature set
- Integrated Speedwire, WebConnect, ModBus interface
- Bi-directional Ethernet communications
- Utility-interactive controls for active and reactive power

SUNNY TRIPOWER 12000TL-US / 15000TL-US / 20000TL-US / 24000TL-US / 30000TL-US

The ultimate solution for decentralized PV plants, now up to 30 kilowatts

The world's best-selling three-phase PV inverter, the SMA Sunny Tripower TL-US, is raising the bar for decentralized commercial PV systems. This three-phase, transformerless inverter is UL listed for up to 1000 V DC maximum system voltage and has a peak efficiency above 98 percent, while OptiTrac Global Peak minimizes the effects of shade for maximum energy production. The Sunny Tripower delivers a future-proof solution with full grid management functionality, cutting edge communications and advanced monitoring. The Sunny Tripower is also equipped with all-pole ground fault protection and integrated AFCI for a safe, reliable solution. It offers unmatched flexibility with a wide input voltage range and two independent MPP trackers. Suitable for both 600 V DC and 1,000 V DC applications, the Sunny Tripower allows for flexible design and a lower levelized cost of energy.

www.SMA-America.com

Technical data	Sunny Tripower 12000TL-US	Sunny Tripower 15000TL-US	Sunny Tripower 20000TL-US	Sunny Tripower 24000TL-US	Sunny Tripower 30000TL-US
Input (DC)					
Max. usable DC power (@ cos φ = 1)	12250 W	15300 W	20400 W	24500 W	30800 W
Max. DC voltage	*1000 V	*1000 V	*1000 V	*1000 V	1000 V
Rated MPPT voltage range	300 V...800 V	300 V...800 V	380 V...800 V	450 V...800 V	500 V...800 V
MPPT operating voltage range	150 V...1000 V	150 V...1000 V	150 V...1000 V	150 V...1000 V	150 V...1000 V
Min. DC voltage / start voltage	150 V / 188 V	150 V / 188 V	150 V / 188 V	150 V / 188 V	150 V / 188 V
Number of MPP tracker inputs	2	2	2	2	2
Max. input current / per MPP tracker input	66 A / 33 A	66 A / 33 A	66 A / 33 A	66 A / 33 A	66 A / 33 A
Output (AC)					
AC nominal power	12000 W	15000 W	20000 W	24000 W	30000 W
Max. AC apparent power	12000 VA	15000 VA	20000 VA	24000 VA	30000 VA
Output phases / line connections	3 / 3-N-PE				3 / 3-N-PE, 3-PE
Nominal AC voltage	480 / 277 V WYE				480 / 277 V WYE, 480 V Delta
AC voltage range	244 V...305 V				
Rated AC grid frequency	60 Hz				
AC grid frequency / range	50 Hz, 60 Hz / -6 Hz...+5 Hz				
Max. output current	14.4 A	18 A	24 A	29 A	36.2 A
Power factor at rated power / adjustable displacement	1 / 0.0 leading...0.0 lagging				
Harmonics	< 3%				
Efficiency					
Max. efficiency / CEC efficiency	98.2% / 97.5%	98.2% / 97.5%	98.5% / 97.5%	98.5% / 98.0%	98.6% / 98.0%
Protection devices					
DC reverse polarity protection	●	●	●	●	●
Ground fault monitoring / grid monitoring	●	●	●	●	●
All-pole sensitive residual current monitoring unit	●	●	●	●	●
DC AFCI compliant to UL 1699B	●	●	●	●	●
AC short circuit protection	●	●	●	●	●
Protection class / overvoltage category	I / IV	I / IV	I / IV	I / IV	I / IV
General data					
Dimensions (W / H / D) in mm (in)	665 / 650 / 265 (26.2 / 25.6 / 10.4)				
Packing dimensions (W / H / D) in mm (in)	780 / 790 / 380 (30.7 / 31.1 / 15.0)				
Weight	55 kg (121 lbs)				
Packing weight	61 kg (134.5 lbs)				
Operating temperature range	-25°C...+60°C				
Noise emission (typical) / internal consumption at night	51 dB(A) / 1 W				
Topology	Transformerless				
Cooling concept / electronics protection rating	OptiCool / NEMA 3R				
Features					
Display / LED indicators (Status / Fault / Communication)	— / ●				
Interface: RS485 / Speedwire, WebConnect	○ / ●				
Data interface: SMA Modbus / SunSpec ModBus	● / ●				
Mounting angle range	15°...90°				
Warranty: 10 / 15 / 20 years	● / ○ / ○				
Certifications and approvals	UL 1741, UL 1998, UL 1699B, IEEE 1547, FCC Part 15 (Class A & B), CAN/CSA C22.2 107.1-1				
NOTE: US inverters ship with gray lids. Data at nominal conditions. *Suitable for 600 V DC max. systems					
● Standard features ○ Optional features — Not available					
Type designation	STP 12000TL-US-10	STP 15000TL-US-10	STP 20000TL-US-10	STP 24000TL-US-10	STP 30000TL-US-10

Accessories



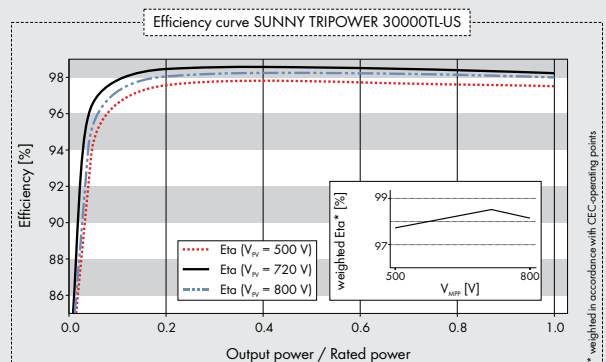
RS485 interface
DM-485CB-US-10

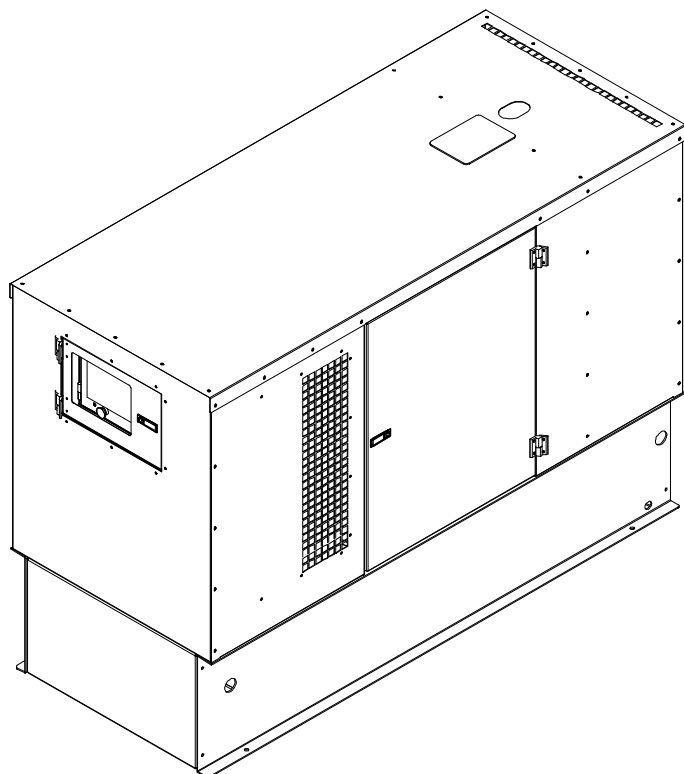


Connection Unit
CU 1000-US-10



SMA Cluster Controller
CLCON-10





CARACTERISTICAS GENERALES

- ☐ Armstrong ofrece garantía tanto del equipo como de sus componentes.
- ☐ Todas las unidades y sus componentes son probados en la fábrica, durante la etapa de prototipo como la de manufactura, asegurando una larga vida de nuestros productos.
- ☐ Los generadores aceptan el 100% de la carga en un paso según NFPA 110.
- ☐ La garantía limitada de un año, cubre todos los sistemas y componentes. Garantías extendidas se encuentran disponibles.
- ☐ Motor diesel de uso pesado de 4 ciclos con puertos de circulación para un bajo consumo de combustible y una excelente respuesta de transición.

CARACTERISTICAS DEL GENERADOR.

- ☐ Sistema único de compensación de voltios por hertzio (AVR) que provee un voltaje confiable en momentos de alto consumo.
- ☐ Alternador rotativo sin escobillas de baja reactancia, embobinado a 2/3, aislamiento clase H que minimiza la distorsión del voltaje cuando se energizan cargas no lineales.

MÁS CARATERÍSTICAS

- ☐ Los controladores están diseñados para responder a las más difíciles aplicaciones.
- ☐ En el caso de bajo nivel de aceite o alta temperatura del refrigerante, el sistema de protección desconectará la unidad automáticamente.
- ☐ Tanque de combustible integrado.
- ☐ Cabina en aluminio con atenuación de sonido.

CLASIFICACION DEL GENERADOR

Modelo	Código de voltage	Voltage	Conexión	Fase	Factor Potencia	Hz	Amperage Standby	Standby kW / kVA	Prime kW / kVA
A37KBS	61	480 / 277	12 - HI WYE	3	0.8	60	45	30 / 37.5	27 / 34
A37KBS	63	440 / 254	12 - HI WYE	3	0.8	60	49	30 / 37.5	27 / 34
A37KBS	64	240 / 139	12 - HI DELTA	3	0.8	60	90	30 / 37.5	27 / 34
A37KBS	65	220 / 127	12 - LOW WYE	3	0.8	60	99	30 / 37.5	27 / 34
A37KBS	66	208 / 120	12 - LOW WYE	3	0.8	60	104	30 / 37.5	27 / 34
A37KBS	67	240 / 120	12 - 2 DELTA	1	1.0	60	125	30 / 30	27 / 27
A37KBS	51	415 / 240	12 - HI WYE	3	0.8	50	43	25 / 31	22.5 / 28
A37KBS	53	380 / 220	12 - HI WYE	3	0.8	50	48	25 / 31	22.5 / 28
A37KBS	55	220 / 127	12 - LOW WYE	3	0.8	50	82	25 / 31	22.5 / 28
A37KBS	57	220 / 110	12 - 2 DELTA	1	1.0	50	114	25 / 25	22.5/22.5

Clasificaciones stand-by son para servicio eléctrico continuo durante la interrupción de la energía normal. Ninguna Capacidad de sobrecarga es especificada a esas mediciones. Mediciones Prime disponibles con cargas variables, 10% de sobrecarga por una hora en periodos de 12 horas. Clasificaciones de acuerdo a BS 5514, DIN 6271, ISO-3046 Muchos voltajes industriales, comerciales y residenciales están disponibles.

ESPECIFICACION DEL ALTERNADOR

Tipo	Campo giratorio de 4 bobinas
Aislamiento del rotor	Clase H
Incremento de temperatura	150°C Standby
Material	Resina epóxica
Factor armónico línea - línea (Máx.)	5%
Factor interferencia telefónica(Tif)	1%
Regulador de voltaje	Estado solido
Enfriamiento	Ventilación propia a prueba de goteo
Cojinete	Cada un pre-lubricado
Acople	Directo, disco flexible
Capacidad de carga (Standby)	100%
Capacidad de sobrecarga(Prime)	110%
Regulación de Voltaje	±1 %
De no carga a carga	
Aceptación de carga instantánea según NFPA 110	100%

- ❑ Campo giratorio de 4 bobinas, acoplado directamente a la rueda volante del motor, que provee excelente alineamiento.
- ❑ Aislamiento clase H, listo para ser usado en los ambientes más extremos con factores como salinidad, arena y corrosión química.
- ❑ Regulador de voltaje de voltios/hertz que mejora las capacidades de encendido del motor y ayuda a manejar las cargas transitorias.
- ❑ Rotor balanceado dinámicamente, de bobina húmeda, que ayuda a disipar la interferencia de voltajes transitorios durante variaciones de la carga.
- ❑ El cableado posee 2/3 de pitch para reducir el contenido armónico del voltaje.
- ❑ Estructura mecánica robusta que permite fácil acceso a las conexiones.

ESPECIFICACIONES DEL MOTOR

Fabricante	Kubota
Modelo	V3300-BG
Diámetro cilindro	3.86in. (98.0mm)
Desplazamiento	4.33in. (110.0mm)
Número de cilindros	4
Volumen de Desplazamiento	202.48 in. ³ (3.318L)
Compresión	23.0:1
Sistema de combustión	Kubota E-TVCS
Tipo de motor	En línea – 4 ciclos
Aspiración	Natural
Sistema de ventilación del motor.	Closed
Cilindro	Rectificable
Material Del Cigüeñal	Acero forjado
Tipo de gobernador	Mecánico
Frecuencia de regulación	
No carga-con carga	5 %
Filtro de aire	Elemento seco

- ❑ Motor Kubota de uso pesado, robusto y compacto, de confiable durabilidad.
- ❑ Bastantes accesorios disponibles.
- ❑ Inyección indirecta de combustible con el sistema Kubota E-TVCS Three Vortex Combustion System, que reduce las emisiones, mejora la salida de poder y mejora el consumo de combustible.
- ❑ El Gobernador y la rueda libre de alta capacidad de Kubota, hace posible el control de velocidades de la de hasta el 5%
- ❑ El sistema de súper brillo, es un equipo estándar que ayuda el encendido de la maquina a bajas temperaturas (-4°F (-20°C)), con tan solo 10 segundos de precalentamiento.

Movido por:



EQUIPO ESTANDAR

MOTOR

- Filtro de aire.
- Bomba de combustible.
- Filtro de combustible.
- Bomba de aceite.
- Filtro de aceite
- Bomba de agua
- Termostato y cubierta
- Bomba de agua
- Termostato y cubierta
- Múltiple de escape seco.
- Refrigerante de aceite.
- Motor y aspas de ventilador
- Radiador montado en la unidad.
- Arranque eléctrico de 12v
- Cubierta y rueda volante
- Alternador de carga de 12v

- Kit de batería y soporte.

GENERADOR

- Sincronizado sin escobillas
- 4 bobinas
- Un cojinete
- Acople directo con flexible
- Aislamiento clase H
- Construcción a prueba de Goteo.

CONTROL PANEL

- Panel de control digital
- Módulo de encendido Automático.
- Medidor de horas electrónico
- Botones de oprimir para funciones de encendido manual y

automático y parada.

- Controle estándar de Monitoreo de la máquina
- Apagados automáticos de:
 - * Alta temperatura de agua.
 - Temperatura.
 - * Baja presión de aceite
 - * Protector de 12V DC
- Interruptor de circuito.
- Pantalla con indicación de :
 - * Temperatura de agua
 - * Presión de aceite
 - * Alarma de encendido
 - * Baja velocidad
 - * Sobre velocidad
 - * Batería cargando

GENERAL

- Silenciador critico
- Protector de escape contra lluvia.
- Tanque incorporado de 150 gal.
- Cargador de batería.
- Drenaje de aceite y líquido refrigerante.
- Conector flexible.
- Puertas removibles con llave.
- Interruptor de circuito principal.
- Puntos de levantamiento en el tanque.

DATOS DE INSTALACION Y APLICACION

	Parametro	Unidades	Tipo de Operacion y Aplicacion			
			60 Hz		50 Hz	
			Prime	Standby	Prime	Standby
Motor	Velocidad	rpm	1800		1500	
	Potencia neta de salida	bhp (kWm)	43.9 (32.7)	48.1 (35.88)	36.8 (27.5)	43.9 (32.7)
	BMEP	psi (kPa)	95.4 (657)	104.5 (720)	95.9 (661)	114.4 (788)
	Velocidad de piston	Ft/s (m/s)	21.56 (0.55)		17.9 (0.46)	
Sistema de refrigeracion	Temperatura ambiente de aire	°F (°C)	122 (50)			
	Irradiacion de calor del motor al refrigerante	BTU/min (kW)	1749 (30.7)	1927 (33.8)	1466 (25.7)	1758 (30.9)
	Flujo de aire de ventilador de empuje	Cfm (m3/min)	4750 (134)		3870 (109)	
	Flujo de refrigerante	gal/min (L/min)	21 (80)		15.8 (60)	
	Capacidad de refrigerante	qt (L)	7.7 (8.5)			
	Apertura de termostato	°F (°C)	170 (76.5)			
	Termostato completamente abierto	°F (°C)	194 (90)			
	Diametro de ventilador	in. (mm)	18 (457.2)			
Sistema de combustible	Succion maxima de bomba	ft (m)	3 (0.9)			
	Tipo de combustible		Diesel #2			
	Capacidad del tanque	Gal (L)	0.62 (2.35)			
	Consumo al 25% de Potencia	gal/hr (L/hr)	1.24 (4.7)	1.36 (5.15)	0.52 (1.96)	0.62 (2.34)
	Consumo al 50% de Potencia	gal/hr (L/hr)	1.86 (7.04)	2.04 (7.72)	1.04 (3.92)	1.24 (4.67)
	Consumo al 75% de Potencia	gal/hr (L/hr)	2.48 (9.39)	2.72 (10.29)	1.56 (5.88)	1.86 (7.01)
	Consumo al 100% de Potencia	gal/hr (L/hr)	3814 (108)	4750 (134)	2.07 (7.83)	2.47 (9.34)
Requerimien tos de aire	Flujo de aire de combustion	ft³/min (m³/min)	18.1 (4.5)		4750 (134)	
	Restriccion maxima de entrada	ln.H₂O (kPa)	842 (450)			
	Temperatura del escape	°F (°C)	60.6 (15.1)		797 (425)	
	Maxima presion de salida de gases	ln.H₂O (kPa)	60.6 (15.1)			
Sistema de lubricación	Consumo especifico de aceite		0.95g/kW-hr			
	Capacidad de aceite	qt (L)	13 (14.3)			
	Capacidad total con filtros	qt (L)	14 (15.4)			
	Tipod e filtro de aceite		Cartucho			
Sistema electrico	Alternador de carga de bateria	Volts, Ground	14V, negativo			
	Amperaje de Alternador de carga de bateria	Rated amps	45			
	Bateria recomendada	CCA amps	600			
	Motor de arranque	Volts, Ground	12V, negativo			
Operation	Peridas por altitud		Consultar con la Fabrica			

EQUIPO OPCIONAL

Sistema de Enfriamiento

- ☐ Radiador remoto
- ☐ Calentador de refrigerante

Sistema de Combustible

- ☐ Separador de agua y combustible.
- ☐ Bomba de combustible auxiliar
- ☐ Tanque de combustible en la base de doble pared UL 142

Sistema de Encendido

- ☐ Batería Níquel Cadmio
- ☐ Base de calentado de

batería.

- ☐ Cargador de batería
 - ☐ Flotador automático equalizable
 - ☐ Chorro

Dispositivo de distribución

- ☐ Switch de transferencia automática
- ☐ Paralelismo

Generador

- ☐ Excitación magnética Permanente
- ☐ Calentadores de espacio

Panel de Control

- ☐ NFPA 110 aprobado

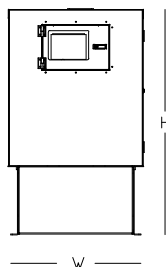
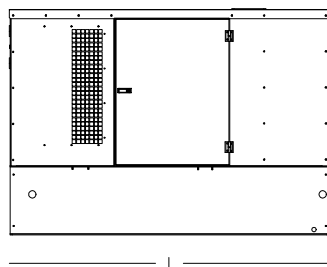
- ☐ Panel de anunciación remoto
- ☐ Alarma Audible

General

- ☐ Resortes aislantes de vibración.
- ☐ Luces interiores AC o DC
- ☐ Tráiler
- ☐ Caja de exportación
- ☐ Pruebas especiales
- ☐ Garantías
- ☐ ____ Años

Cualquier otra opción consultar a la

DIMENSIONES Y PESO



	Unidades	Unidad Cerrada
Largo	In. (mm)	87 (2210)
Ancho	In. (mm)	37 (940)
Alto	In. (mm)	64 (1626)
Peso	Lbs (kg)	1747 (794)

Configuración general como referencia únicamente. No use esas dimensiones para propósitos de instalación. Contacte su dealer local para obtener dibujos Certificados.

Todas las especificaciones y materiales sujetos a cambio sin previo aviso.

ARMSTRONG POWER SYSTEMS

ARMSTRONG POWER SYSTEMS LLC

Phone (305) 470-0058

Fax (305) 470-0068

Toll Free (800) 238-0732

Address: 5100 NW 72 Ave, Miami FL 33166

Email: sales@armstrongpower.com

www.armstrongpower.com